

# 机床夹具设计

## 3.1 机床夹具概述

### 3.1.1 机床夹具及其组成

机床夹具是在机床上装夹工件的一种装置,其作用是使工件相对于机床和刀具有一个正确的位置,并在加工过程中保持这个位置不变。

图 3-1 所示为在铣床上使用的夹具,图 3-1(a)为在该夹具上加工的连杆零件工序图,图 3-1(b)为夹具体图,图 3-1(c)为夹具装配图。工序要求工件以一面两孔定位,分四次安装铣削大头孔两端面处的共八个槽。工件以端面安放在夹具底板 4 的定位面  $N$  上,大、小孔分别套在圆柱销 5 和菱形销 1 上,并用两个压板 7 压紧。夹具通过两个定向键 3 在铣床工作台上定位,并通过夹具底板 4 上的两个 U 形槽,用 T 形槽螺栓和螺母紧固在工作台上。铣刀相对于夹具的位置则用对刀块 2 调整。为防止夹紧工件时压板转动,在压板的一侧设置了止动销 11。

由图 3-1 可以看出机床夹具的基本组成部分,主要包括:

- (1) 定位元件(或装置)。用以确定工件在夹具上的位置,如夹具底板 4(顶面  $N$ )、圆柱销 5 和菱形销 1。
- (2) 刀具导向元件(或装置)。用以引导刀具或调整刀具相对于夹具定位元件的位置,如对刀块 2。
- (3) 夹紧元件(或装置)。用以夹紧工件,如压板 7、螺母 9、螺栓 10 等,对于自动夹具还有气缸、液压缸等驱动装置。
- (4) 连接元件。用以确定夹具在机床上的位置并与机床相连接,如定向键 3、夹具底板 4 的 U 形槽等。
- (5) 夹具体。用以连接夹具各元件(或装置),使之成为一个整体,并通过它将夹具安装在机床上,如夹具底板 4。
- (6) 其他元件(或装置)。除上述(1)~(5)以外的元件(或装置),如某些夹具上的分度装置、防错(防止工件错误安装)装置、安全保护装置,为便于卸下工件而设置的顶出器等。图 3-1 中的止动销 11 也属于此类元件。

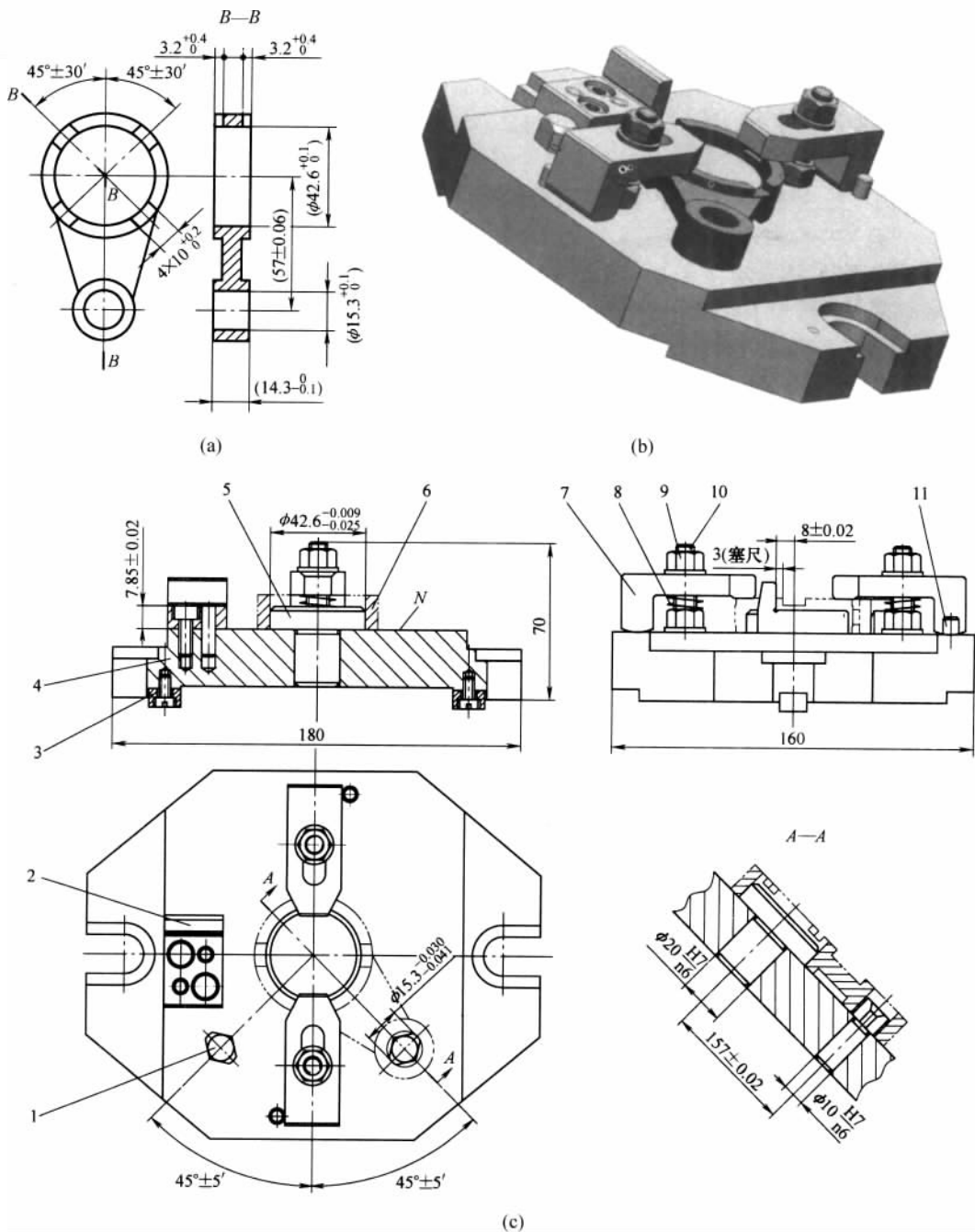


图 3-1 连杆铣槽夹具

- 1—菱形销；2—对刀块；3—定向键；4—夹具底板；5—圆柱销；  
6—工件；7—压板；8—弹簧；9—螺母；10—螺栓；11—止动销



### 3.1.2 机床夹具的功能

机床夹具的主要功能如下:

(1) 保证加工质量。使用机床夹具的首要任务是保证加工精度,特别是保证被加工工件加工面与定位面之间以及待加工表面相互之间的位置精度。在使用机床夹具后,这种精度主要依靠夹具和机床来保证,而不再依赖于工人的技术水平。

(2) 提高生产效率,降低生产成本。使用夹具后可减少划线、找正等辅助时间,且易实现多件、多工位加工。在现代机床夹具中,广泛采用气动、液动等机动夹紧装置,可使辅助时间进一步减少。

(3) 扩大机床工艺范围。在机床上使用夹具可使加工变得方便,并可扩大机床的工艺范围。如在车床或钻床上使用镗模,可以代替镗床镗孔。又如使用靠模夹具,可在车床或铣床上进行仿形加工。

(4) 减轻工人劳动强度,保证安全生产。

### 3.1.3 机床夹具的分类

机床夹具可以有多种分类方法。通常按机床夹具的使用范围,可分为五种类型。

(1) 通用夹具。如在车床上常用的自定心卡盘、单动卡盘、顶尖,铣床上常用的机用平口钳、分度头、回转工作台等均属此类夹具。该类夹具由于具有较大的通用性,故得其名。通用夹具一般已标准化,并由专业工厂(如机床附件厂)生产,常作为机床的标准附件提供给用户。

(2) 专用夹具。这类夹具是针对某一工件的某一工序而专门设计的,因其用途专一而得名。图 3-1 所示的连杆铣槽夹具就属专用夹具。专用夹具广泛应用于批量生产中。

(3) 可调整夹具和成组夹具。这类夹具的特点是夹具的部分元件可以更换,部分装置可以调整,以适应不同零件的加工。用于相似零件成组加工的夹具,通常称为成组夹具。与成组夹具相比,可调整夹具的加工对象不很明确,适用范围更广一些。

(4) 组合夹具。这类夹具由一套标准化的夹具元件,根据零件的加工要求拼装而成。就好像搭积木一样,不同元件的不同组合和连接可构成不同结构和用途的夹具。夹具用完以后,元件可以拆卸重复使用。这类夹具特别适合于新产品试制和小批量生产。

(5) 随行夹具。这是一种在自动线或柔性制造系统中使用的夹具。工件安装在随行夹具上,除完成对工件的定位和夹紧外,还载着工件由输送装置送往各机床,并在各机床上被定位和夹紧。

机床夹具也可以按照加工类型和在什么机床上使用来分类,可分为车床夹具、铣床夹具、钻床夹具、镗床夹具、磨床夹具和数控机床夹具等。机床夹具还可以按其夹紧装置的动力源来分类,可分为手动夹具、气动夹具、液动夹具、电磁夹具和真空夹具等。

## 3.2 工件的装夹方式

### 3.2.1 装夹的概念

将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程称为装夹。

为了保证一个工件加工表面的精度,以及使一批工件的加工表面的精度一致,那么一个



工件放到机床上或夹具中,首先必须占有某一相对刀具及切削成形运动(通常由机床提供)的正确位置,且逐次加工的一批工件都应占有相同的正确位置,这便叫做定位。为了在加工中使工件在切削力、重力、离心力和惯性力等力的作用下,能保持定位的正确位置不变,必须把零件压紧、夹牢,这便是夹紧。

工件的装夹,可根据工件加工的不同技术要求,采取先定位后夹紧或在夹紧过程中同时实现定位这两种方式,其目的都是为了保证工件在加工时相对刀具及成形运动具有正确的位置。例如,在牛头刨床上加工一槽宽尺寸为  $B$  的通槽,若此槽只对  $A$  面有尺寸和平行度要求(见图 3-2(a)),可采用先定位后夹紧的装夹方式;若此槽对左右侧面有对称度要求(见图 3-2(b)),则要求采用在夹紧过程中实现定位的对中装夹方式。

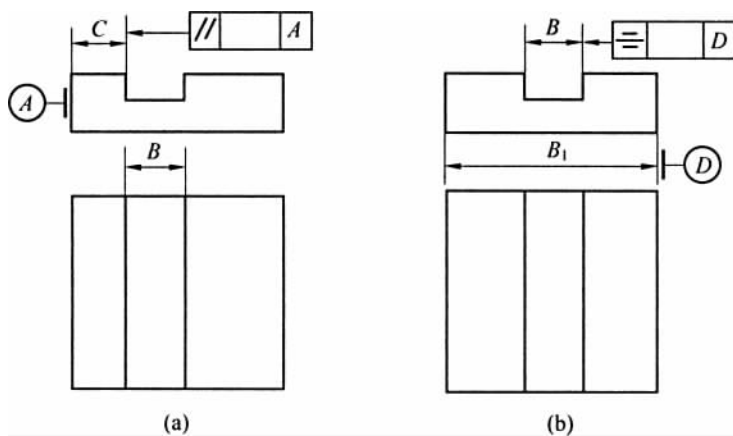


图 3-2 采用不同装夹方式的工件

### 3.2.2 装夹的方法

工件在机床上的装夹,一般可采用如下几种装夹方法。

#### 1. 直接装夹

直接装夹是利用机床上的装夹面来对工件直接定位的,工件的定位基准面只要靠紧在机床的装夹面上并密切贴合,不需找正即可完成定位。此后,夹紧工件,使其在整个加工过程中不脱离这一位置,就能得到工件相对刀具及成形运动的正确位置。图 3-3 所示即是直接装夹的示例。

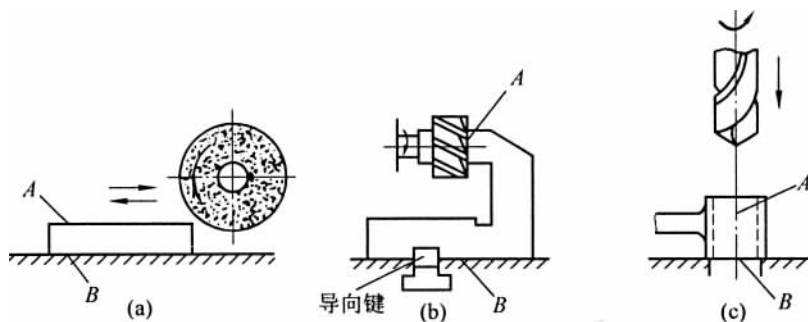


图 3-3 直接装夹



图 3-3(a)中,工件的加工面  $A$  要求与工件的底面  $B$  平行,装夹时将工件的定位基准面  $B$  靠紧并吸牢在磁力工作台上即可;图 3-3(b)中工件为一夹具底座,加工面  $A$  要求与底面  $B$  垂直并与底部已装好导向键的侧面平行,装夹时除将底面靠紧在工作台面上之外,还需使导向键侧面与工作台上 T 形槽侧面靠紧;图 3-3(c)中工件上的孔  $A$  只要求与工件定位基准面  $B$  垂直,装夹时将工件的定位基准面紧靠在钻床工作台面上即可。

## 2. 找正装夹

找正装夹利用可调垫块、千斤顶、四爪卡盘等工具,先将工件夹持在机床上,将划针或百分表安置在机床的有关部件上,然后使机床作慢速运动。这时划针或百分表在工件上划过的轨迹即代表着切削成形运动的位置,根据这个轨迹调整工件,使工件处于正确的位置。

例如图 3-4(a)中,在车床上加工一个与外圆表面具有一个偏心量为  $e$  的内孔,可采用四爪卡盘和百分表调整工件的位置,使其外圆表面轴线与主轴回转轴线恰好相距一个偏心量  $e$ ,然后再夹紧工件加工;图 3-4(b)中,在立式铣床上铣削加工一个与侧面平行的燕尾槽,也可通过百分表调整好工件应具有的正确位置再夹紧工件加工。

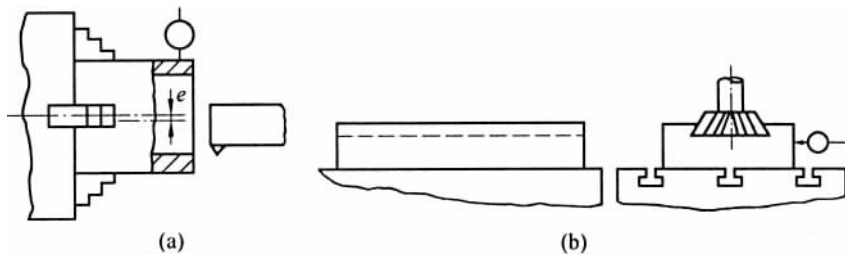


图 3-4 找正装夹方法

对于形状复杂,尺寸、重量均较大的铸、锻件毛坯,若其精度较低不能按其表面找正,则可预先在毛坯上将待加工面的轮廓线划出,然后再按所划的线找正其位置,亦属于找正装夹。找正装夹方法的缺点是费时间,生产效率低,所能达到的装夹精度与操作工人的技术水平和所使用的找正工具的精度有关,故主要适用于单件、小批生产。

## 3. 夹具装夹

夹具是根据工件加工某一工序的具体加工要求设计的,其上备有专用的定位元件和夹紧装置,被加工工件可以迅速且准确地装夹在夹具中。采用夹具装夹时,先在机床上安装好夹具,使夹具上的安装面与机床上的装夹面靠紧并固定,然后在夹具中装夹工件,使工件的定位基准面与夹具上定位元件的定位面靠紧并固定(见图 3-5)。由于夹具上定位元件的定位面相对夹具的安装面有一定的位置精度要求,故利用夹具装夹就能保证工件相对刀具及成形运动的正确位置关系。

采用夹具装夹工件,易于保证加工精度、缩短辅助时间、提高生产效率、减轻工人劳动强度和降低对工人的技术水平要求,故特别适用于成批和大量生产。

### 3.2.3 夹具装夹及其误差

由于在生产中广泛采用夹具装夹,故需对夹具装夹过程及夹具装夹误差作进一步的分析。

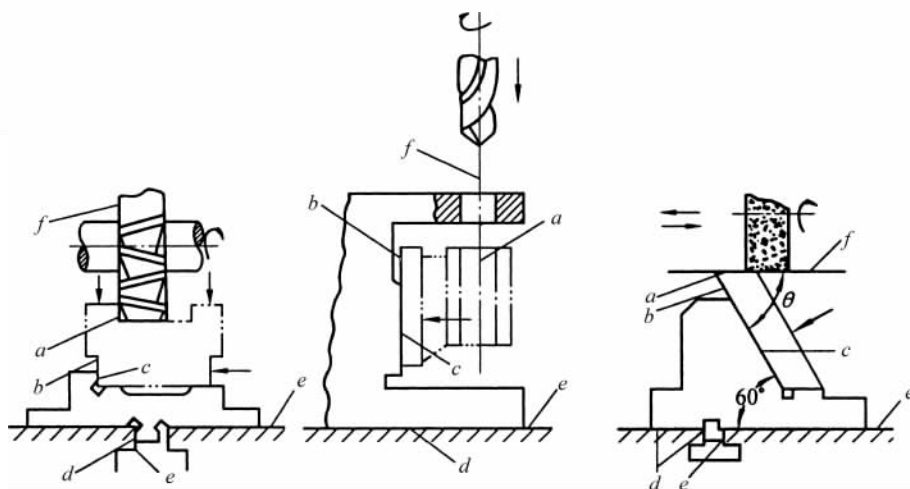


图 3-5 工件、夹具和机床之间的位置关系

$a$ —工件的加工面； $b$ —工件的定位基准面； $c$ —夹具上定位元件的定位面；  
 $d$ —夹具的安装面； $e$ —机床的装夹面； $f$ —刀具的切削成形面

### 1. 夹具装夹过程

图 3-6(a)所示为在车床尾座套筒工件上铣一键槽的工序简图,其中除键槽宽度  $12H8$  由铣刀本身宽度保证外,其余各项要求需依靠工件相对于刀具及切削成形运动所处的位置来保证。如图 3-6(b)所示,这个正确位置为:

- (1) 工件  $\phi 70h6$  外圆的轴向中心面  $D$  与铣刀对称平面  $C$  重合;
- (2) 工件  $\phi 70h6$  的外圆下母线  $B$  距铣刀圆周刃口  $E$  为  $64\text{mm}$ ;
- (3) 工件  $\phi 70h6$  的外圆下母线  $B$  与走刀方向  $f$  平行(包括在水平平面内和垂直平面内)

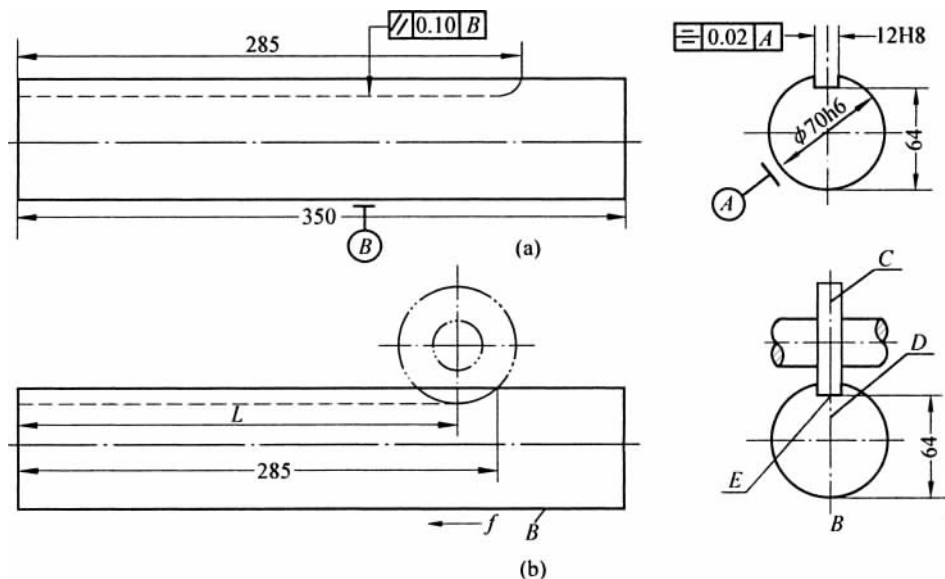


图 3-6 尾座套筒工件铣键槽工序及工件加工时的正确位置



两个方面)；

(4) 工件进给终了时,工件左端至铣刀中心距离为  $L$  ( $L$  尺寸需由尺寸 285mm 换算得出)。

图 3-7 所示是为上述工件铣键槽工序设计的专用夹具。加工前需先将夹具的位置找好。为此,首先将夹具放在铣床工作台上(夹具体 1 的底面与工作台面相接触,定向键 2 嵌在工作台的 T 形槽内)然后用对刀块 6 及塞尺调整夹具相对铣刀的位置,使铣刀侧刃和周刃与对刀块 6 的距离正好为 3mm(此为塞尺厚度),机床工作台(连同夹具)纵向进给的终了位置则由机床上的行程挡铁控制,其位置可通过试切一个至数个工件确定。加工时每次装夹两个工件,分别放在两个 V 形块上,工件右端顶在限位螺钉 9 的头部,这样工件就能在夹具中占据所要求的正确位置。当油缸 5 在压力油作用下通过杠杆 4 将两根拉杆 3 拉向下时,使两块压板 7 同时将两个工件夹紧,以保证加工中工件的正确位置不变。

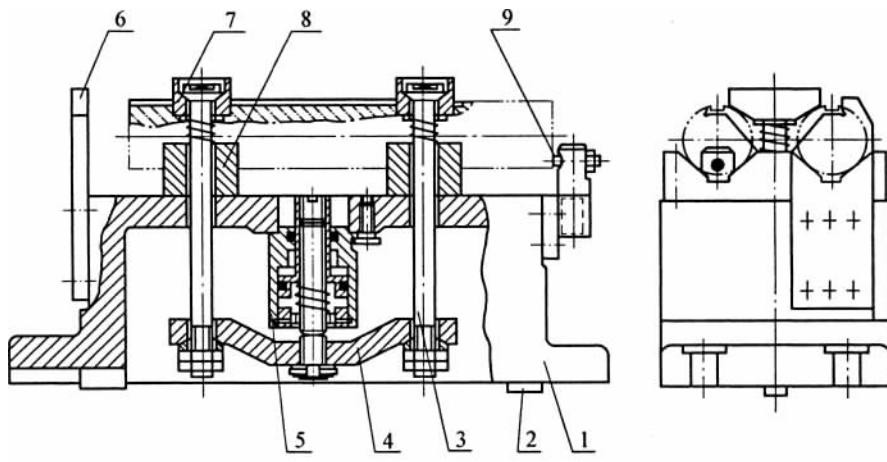


图 3-7 尾座套筒工件铣键槽夹具简图

1—夹具体; 2—定向键; 3—拉杆; 4—杠杆; 5—油缸; 6—对刀块; 7—压板; 8—V形块; 9—限位螺钉

## 2. 夹具装夹误差

采用夹具装夹,造成工件加工表面的距离尺寸和位置误差的原因可分为如下三个方面:

(1) 与工件在夹具中装夹有关的加工误差,称为工件装夹误差,以  $\delta_{装夹}$  表示。其中包括工件在夹具中由于定位不准确所造成的加工误差——定位误差  $\delta_{定位}$ ,以及在工件夹紧时由于工件和夹具变形所造成夹紧误差  $\delta_{夹紧}$ 。

(2) 与夹具相对刀具及切削成形运动有关的加工误差,称为夹具的对定误差,以  $\delta_{对定}$  表示。其中包括夹具相对刀具位置有关的加工误差——对刀误差  $\delta_{对刀}$  和夹具相对成形运动位置有关的加工误差——夹具位置误差  $\delta_{夹位}$ 。

(3) 与加工过程有关的加工误差,称为过程误差,以  $\delta_{过程}$  表示。其中包括工艺系统的受力变形、热变形及磨损等因素所造成的加工误差。

当使用图 3-8 所示夹具铣尾座套筒工件上的键槽时,对尺寸 64mm 的加工误差的组成可用图 3-8 表示。一批工件的直径尺寸有大有小,放在 V 形块中时,其外圆下母线 B 的位置就不一致,则造成工件的定位误差( $\delta_{定位}$ ),加上夹紧误差( $\delta_{夹紧}$ )即为装夹误差( $\delta_{装夹}$ )。由于对刀块的位置不准确,或者由于对刀时铣刀刀口离对刀块的距离没有准确调整到规定值



3mm, 就会造成对刀误差( $\delta_{对刀}$ )。而夹具上 V 形块与夹具体底面不平行, 机床工作台面与进给方向不平行, 定向键与工作台上 T 形槽配合精度低等, 则造成夹具定位元件的位置误差, 即为夹具的位置误差( $\delta_{夹位}$ )。切削时受切削力、切削热等因素的作用, 工艺系统发生变形, 破坏了铣刀已调好的位置, 所造成的加工误差为过程误差( $\delta_{过程}$ )。

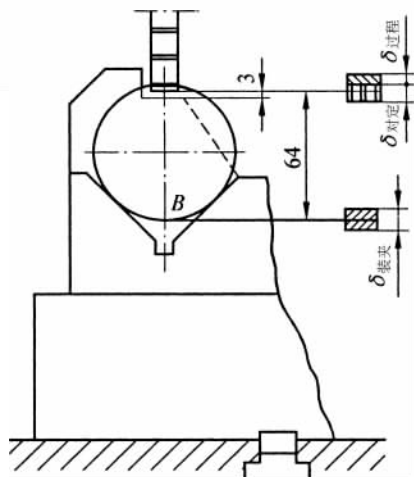


图 3-8 铣键槽工序加工误差的组成

为了得到合格零件, 必须使上述各项误差之和小于或等于相应公差  $T$ , 即

$$\delta_{装夹} + \delta_{对定} + \delta_{过程} \leq T$$

此式称为加工误差的不等式。在设计或选用夹具时, 需要仔细分析计算  $\delta_{装夹}$  和  $\delta_{对定}$ , 并从全局出发对其值予以控制。既要使工件的装夹方便可靠, 夹具的制造与调整容易, 又要给  $\delta_{过程}$  留有余地。通常, 初步计算时, 可粗略先按三项误差平均分配, 各不超过公差

的  $\frac{1}{3}$  考虑, 即

$$\delta_{装夹} \leq \frac{1}{3}T, \quad \delta_{对定} \leq \frac{1}{3}T$$

并给过程误差  $\delta_{过程}$  留有误差允许值。

前两项与夹具的设计和使用调整有关, 若这种单项分配不能满足不等式要求, 也可综合考虑, 即按

$$\delta_{装夹} + \delta_{对定} \leq \frac{2}{3}T$$

进行计算。这样, 可根据具体情况, 在  $\delta_{装夹}$  和  $\delta_{对定}$  之间进行调整, 或采取其他措施, 使不等式得到满足。

### 3.3 定位误差分析

#### 3.3.1 定位误差分析与计算

设计夹具过程中选择和确定工件的定位方案, 除了根据定位原理选用相应的定位元件外, 还必须对选定的工件定位方案能否满足工序的加工精度要求作出判断, 为此就需对可能产生的定位误差进行分析和计算。

##### 1. 定位误差的概念及其产生原因

定位误差是指由于定位不准而造成某一工序在工序尺寸(通常指加工表面对工序基准的距离尺寸)或位置要求方面的加工误差。某一定位方案, 经分析计算其可能产生的定位误差, 只要小于工件有关尺寸或位置公差的  $\frac{1}{3}$  或满足前述夹具装夹中的加工误差不等式, 即认为此定位方案能满足工序加工精度要求。工件在夹具中由定位元件确定, 当工件上的定位基准一旦与夹具上的定位元件相接触或相配合, 工件的位置也就确定了。但对于一批工件来说, 由于在各个工件的有关表面本身和它们之间在尺寸和位置上均存在着在公差范围



内的差异,夹具定位元件本身和各定位元件之间也具有一定的尺寸和位置公差,这样,工件虽已定位,但每个被定位工件的某些表面都会存在自己的位置变动量,从而造成在工序尺寸和位置要求方面的加工误差。

如在图 3-9(a)所示的套筒形工件上钻一个通孔,要求保证的工序尺寸为  $H^0_{-T_H}$ ,加工时所使用的钻床夹具如图 3-9(b)所示。被加工孔的工序基准为工件外圆  $d^0_{-T_d}$  的下母线 A,工件以内孔  $D^0_{+T_D}$  与短圆柱定位销 1 配合,定位基准为内孔中心线 O。工件端面与支承垫圈 2 接触,限制工件的三个不定度,工件内孔与短圆柱定位销配合,限制两个不定度。

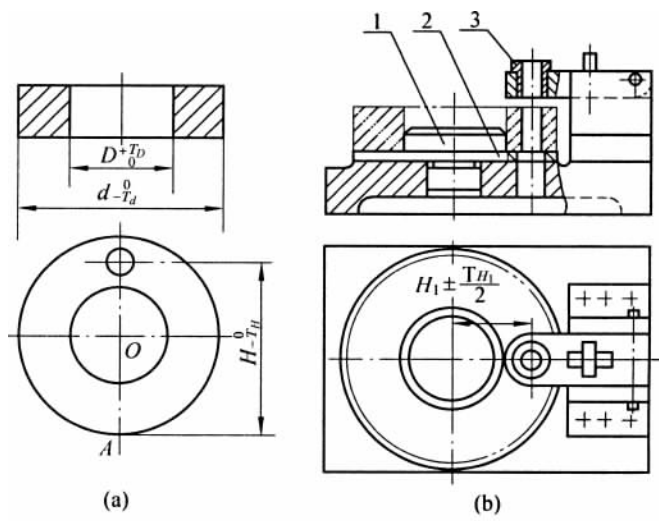


图 3-9 钻孔工序简图及钻孔夹具

1—短圆柱定位销; 2—支承垫圈; 3—钻套

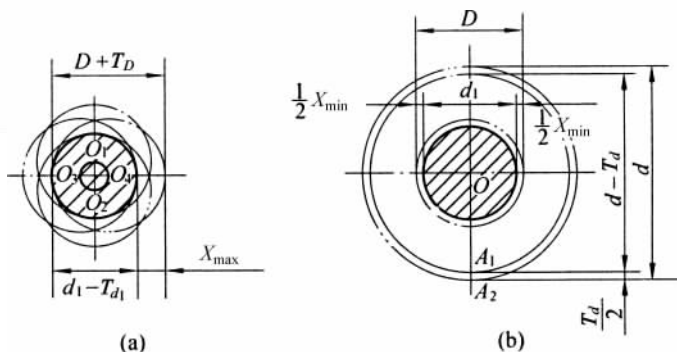
若被加工的这一批工件的内孔、外圆及夹具上的定位销均无制造误差,且工件内孔与定位销又无配合间隙,则这一批被加工工件的内孔中心、外圆中心均与定位销中心重合。此时每个工件的内孔中心线和外圆下母线的位置也均无变动,加工后这一批工件的工序尺寸是完全相同的。但是,实际工件的内孔、外圆及定位销的直径尺寸不可能制造得绝对准确,且工件内孔与定位销也不是无间隙配合,故一批工件的内孔中心线及外圆下母线均在一定范围内变动,加工后这一批工件的工序尺寸也必然是不相同的。

图 3-10 表示的是,当夹具上定位销尺寸按  $d^0_{1-T_{d_1}}$ 、工件内孔及外圆尺寸分别按  $D^0_{+T_D}$  及  $d^0_{-T_d}$  制造,且定位销与工件按基本尺寸计算,内孔的最小配合间隙为  $D-d_1=X_{\min}$  时,一批工件定位基准 O 和工序基准 A 相对定位基准理想位置 O' 的最大变动量。其中图 3-10(a)中的  $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$  及  $O_4$  为定位基准 O 最大位置变动的几个极端位置,图 3-10(b)中的  $A_1$  及  $A_2$  表示在定位基准 O 没有位置变动时工序基准 A 的两个极端位置。

定位基准 O 位置的最大变动量称为定位基准的位置误差(简称基准位置误差),以  $\delta_{\text{位置}(O)}$  表示。基准位置误差可由图 3-10(a)中求得,即

$$\delta_{\text{位置}(O)} = O_1O_2 = O_3O_4 = T_D + T_{d_1} + X_{\min} = X_{\max}$$

工序基准 A 相对定位基准理想位置 O' 的最大变动量称为工序基准与定位基准不重合误差(简称基准不重合误差)以  $\delta_{\text{不重}(A)}$  表示。基准不重合误差可由图 3-10(b)中求得,即

图 3-10 一批工件定位基准  $O$  和工序基准  $A$  相对定位基准理想位置  $O'$  的最大变动量

$$\delta_{\text{不重}(A)} = A_1 A_2 = \frac{1}{2} T_d$$

采用夹具加工通孔, 将按夹具上的钻套 3 确定钻头的位置, 而钻套 3 的中心对定位销 1 的中心位置已由夹具上的尺寸  $H_1 \pm T_{H_1}/2$  确定。在加工一批工件的过程中, 钻头的切削成形面(即被加工通孔表面)中可认为是不变的。因此, 在加工通孔时造成工序尺寸  $H_{-T_H}^0$  定位误差的原因, 就是一批工件定位时其定位基准和工序基准相对定位基准理想位置的最大变动量。

## 2. 定位误差的组成和计算方法

由上述实例分析可以进一步明确, 定位误差是指一批工件采用调整法加工, 仅仅由于定位不准而引起工序尺寸或位置要求的最大可能变动范围。定位误差主要是由尺寸位置误差和基准不重合误差组成。

根据定位误差的上述定义, 在设计夹具时, 对任意一个定位方案均可通过一批工件定位可能出现的两个极端位置, 直接计算出工序基准的最大可能变动范围, 即为该方案的定位误差。现仍以已分析过的钻孔工序为例, 如图 3-11 所示, 在工件内孔尺寸最大而定位销尺寸

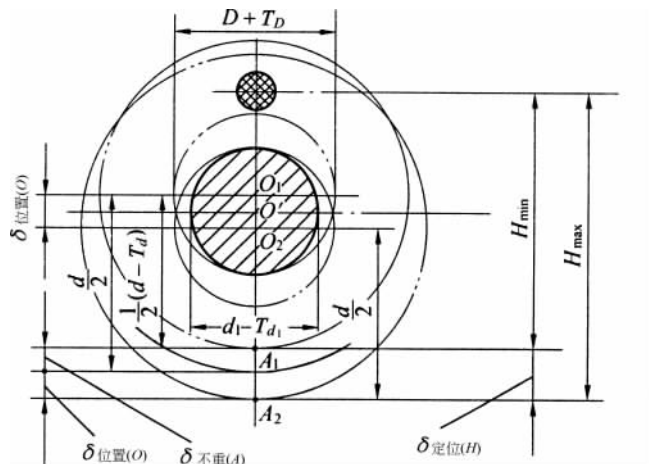


图 3-11 计算定位误差时工件的两个极端位置