

2-2 切削过程的三个变形区各有何特点？它们之间有什么关联？

答：三个变形区的特点：第一变形区为塑性变形区，或称基本变形区，其变形量最大，常用它来说明切削过程的变形情况；第二变形区为摩擦变形区，切屑形成后与前面之间存在压力，所以沿前面流出时必然有很大摩擦，因而使切屑底层又产生一次塑性变形；第三变形区发生在工件已加工表面与后面接触的区域，已加工表面受到切削刃钝圆部分与后刀面的挤压和摩擦产生变形。

关联：这三个变形区汇集在切削刃附近，应力集中且复杂；它们实质上都是因为挤压和摩擦产生变形，第一变形区主要由挤压沿剪切线产生剪切变形，第二变形区主要由挤压和摩擦产生切屑的变形，第三变形区主要由挤压和摩擦产生加工表面变形。

2-3 分析积屑瘤产生的原因及其对加工的影响，生产中最有效的控制积屑瘤的手段是什么？

答：积屑瘤产生的原因：在切削速度不高又能形成连续切削的情况下，加工塑性材料时，刀面和切屑表面由于挤压和摩擦使得接触表面成为新鲜表面，少量切屑金属粘结在前刀面上，产生了冷焊，并形成加工硬化和瘤核。瘤核逐渐长大形成积屑瘤。

对加工的影响：积屑瘤粘结在前刀面上，减少了刀具的磨损；积屑瘤使刀具的实际工作角度增大，有利于减小切削力；积屑瘤伸出刀刃之外，使得切削厚度增加，降低了工件的加工表面精度并使加工表面粗糙度增加。

生产中控制积屑瘤的手段：在粗加工中，可以采用中低速切削加以利用，保护刀具。在精加工中应避免采用中低速从而控制积屑瘤的产生，同时还可以增大刀具前角，降低切削力，或采用好的切削液。

2-7 车削时切削合力为什么常分解为三个互相垂直的分力来分析？试说明这三个分力的作用？

答：分解成三个互相垂直力的原因：切削合力的方向在空间中是不固定的，与切削运动中的三个运动方向均不重合，而切削力又是设计和性能分析的一个重要参数。为了便于分析和实际应用，将切削力沿车削时的三个运动方向分解成三个力。三个切削运动分别为：主运动(切削速度)、进给运动(进给量)、切深运动(背吃刀量)。三个运动的方向在车削时是互相垂直的，所以车削时将切削力分解成沿三个运动方向、互相垂直的力。

三个分力的作用：

F_z ：切削力或切向力。它是计算车刀强度、设计机床主轴系统、确定机床功率所必须的。

F_x ：进给力、轴向力。它是设计进给机构，计算车刀进给功率所必须的。

F_y ：切深抗力或背向力。它是计算工件挠度、机床零件和车刀强度的依据。工件在切削过程中产生的主动往往与 F_y 有关。

2-17 切削用量对刀具磨损有何影响？在 $VT^m = C$ 关系中，指数 m 的物理意义是什么？不同刀具材料 m 值为什么不同？

答：

切削速度影响最大，进给量次之，背吃刀量最小，和对切削温度影响顺序完全一致。

m 是刀具寿命的斜率。因为不同的材料耐热性不同，因此有不同的 m 值，耐热性越低，斜率越小，切削速度对刀具寿命影响越大，也就是说，切削速度改变一点，刀具寿命变化很大，反之亦然。

2-22 在 CA6140 车床上粗车、半精车一套筒的外圆，材料为 45 钢(调质)，抗拉强度 $\sigma_b = 681.5MPa$ ，硬度为 $200 \sim 300HBW$ ，毛坯尺寸 $d_w \times l_w = 80mm \times 350mm$ ，车削后的尺寸为 $d = \phi(75 - 0.25)mm$ ， $L = 340mm$ ，表面粗糙度值均为 $Ra3.2\mu m$ 。试选择刀具类型、材料、结构、几何参数及切削用量。

答：

本题选择直头外圆车刀，刀片材料为硬质合金 YT15，结构为焊接刀具。刀杆尺寸为 $16mm \times 25mm$ 。几何参数 $\gamma_0 = 15^\circ$ ， $\alpha_0 = 8^\circ$ ， $k_r = 75^\circ$ ， $k_r' = 10^\circ$ ， $\lambda_s = 6^\circ$ ， $r_e = 1mm$ ；

因表面粗糙度要求，故分粗车和半精车两道工序。

1、粗车工步

(1)确定背吃刀量 a_p ：单边加工余量为 $2.5mm$ ，粗车取 $a_{p1} = 2mm$ ，半精车取 $a_{p2} = 0.5mm$ 。

(2)确定进给量 f ：根据工件材料、刀杆截面尺寸、工件直径和背吃刀量，从表中查出 $f = 0.5 \sim 0.9mm/r$ 。按机床说明书中实有的进给量，取 $f = 0.51mm/r$

(3)确定切削速度：切削速度可通过 $v = \frac{C_v}{T^m a_p^{x_v} f^{y_v}} K_v$ 计算，也可查表，本题查表取

$v = 110m/min$

主轴转速 $n = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 110}{3.14 \times 80} = 438m/min$

按机床说明书取 $n = 450r / \min$ ，实际切削速度为 $v = \frac{\pi d_w n}{1000} = 113m / \min$

2、半精工步

(1)确定背吃刀量 a_p ： $a_{p2} = 0.5mm$ 。

(2)确定进给量 f ：根据表面粗糙度和刀口圆角半径，并预估切削速度 $> 50m / \min$ ，从表中查出 $f = 0.3 \sim 0.35mm / r$ 。按机床说明书中实有的进给量，取 $f = 0.3mm / r$ 。

(3)根据 a_p 与 f ，查表取 $v = 130m / \min$ 。

$$\text{计算主轴转速 } n = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 130}{3.14 \times 76} = 545r / \min$$

按说明书取 $n = 560r / \min$ ，实际切削速度为 $v = \frac{\pi d_w n}{1000} = 134m / \min$

3-1 机床常用的技术性能指标有哪些？

答：(1)机床的加工范围：机床上加工的工件类型和尺寸，能够加工完成何种工序，使用什么刀具等。

(2)尺寸参数、运动参数、动力参数。尺寸参数具体反映机床的加工范围；运动参数指机床执行件的运动速度；动力参数指机床电动机的功率。

3-5 主轴部件、导轨、支承件及刀架应满足的基本技术要求有哪些？

答：主轴部件应满足旋转精度、刚度、抗争性、温升和热变形要求。

导轨应满足导向精度要求，且承载能力大，刚度好，精度保持性好，低速运动平稳。

支承件应满足(1)具有足够的刚度和较高的刚度质量比；(2)具有较好的动态特性，包括较大的位移阻抗，整机的低阶频率较高，各阶频率不至引起结构共振；不会因薄壁振动而产生噪声；热稳定性好，热变形对机床加工精度的影响小；排屑通畅，吊运安全，并具有良好的结构工艺性。

刀架应满足(1)工艺过程所提出的要求；(2)刀架上要能牢固地安装刀具，在刀架上安装刀具时还应能精确地调整刀具位置，采用自动换刀时，应能保证刀具交换前后都能处于正确位置；(3)刀架应具有足够的刚度；(4)刀架可靠性高；(5)自动换刀装置应能保证换刀时间应尽可能缩短；(4)应保证操作方便与安全。

4-3 何谓基准？试分析下列零件的有关基准

基准——零件上用来确定点、线、面位置时作为参考的其他点、线、面。 琳

1) 径向尺寸 $\phi 84$ 、 $\phi 78$ 、 $\phi 35$ 设计基准为齿轮中心轴，定位基准为齿轮中心轴。

轴向尺寸 18、24 设计基准为端面 B

角度 120° 设计基准为左视图竖直对称轴

尺寸 6 的设计基准为左视图竖直对称轴

尺寸 22.6 设计基准为左视图内圆开口处在 A 端面上的最低点

装配基准为两键槽侧面、端面 B、齿轮中心轴

滚切齿形时，定位基准为齿轮中心轴，测量基准为齿顶圆母线。

2) 台肩面 2 的设计基准为端面 1，定位基准为大头轴线，测量基准为左端面

4-6

答 琳 1 璿几个定位元件组合起来定位一个工件相应的几个定位面 该组合定位元件能限制工件的自由度总数等于各个定位元件单独定位各自相应定位面时所能限制的自由度数之和 不会因组合后而发生数量上的变化。

琳 2 璿组合定位中定位元件在单独定位某定位面时原来起限制工件移动自由度的作用可能会转化成限制

工件转动自由度的作用 但一旦转化后 该定位元件就不能再起原来 限制工件移动自有度的作用了。

琳 3 璿单个表面的定位是组合定位分析的基本单元。

4-7 根据六点定位原理，分析图中各定位元件所限制的自由度

a) 左顶尖 \hat{x}, \hat{z} ，右顶尖 $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$

b) 左锥销 $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ ，右锥销 \hat{x}, \hat{z}

c) 底面支承板 $\vec{z}, \hat{x}, \hat{y}$ ，侧面支承钉 \vec{x}, \vec{z} ，削边销 \vec{y}

d) 左 V 形块 $\vec{y}, \vec{z}, \hat{y}, \hat{z}$ ，右支承钉 \hat{x} ，元件台肩 \vec{x}

e) 上下两个 V 形块 $\vec{y}, \vec{z}, \hat{y}, \hat{z}$, 右 V 形块 \vec{x}, \hat{x}

f) 底面 $\vec{z}, \hat{x}, \hat{y}$, 右边 V 形块 \hat{z} , 定位销 \vec{x}, \vec{y}

4-10 如图所示为一圆柱零件, 在其上加工一个键槽, 要求保证尺寸 $30_{-0.2}^0$, 采用工作角度 90° 的 V 形块定位, 试计算该尺寸的定位误差。

$$\Delta_{dw} = \frac{\Delta d}{2} \left[\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right] = \frac{0.3}{2} \left[\frac{1}{\sin 45^\circ} - 1 \right] = 0.0621$$

解:

4-11

对 A 分析: 基准位移误差为 0.04mm 基准不重合位差为 0, 总定位误差为 0.04mm

对 B 分析: 定位误差为零

4-12 有一批如图所示的工件, 除 $2 \times \phi 5$ 孔外其余各表面均已加工合格。今按照 4-75b 的方案用盖板式钻模一次装夹后依次加工孔 I 和空 II。盖板式钻模用 $\phi 25f9$ 心轴与孔 $\phi 25H9$ 相配定位。试分析计算两个孔心距的定位误差。

解:

对 1 孔: 孔 1 的定位基准和设计基准重合, 故定位误差=基准位移误差

$$\Delta_{jw} = T(D) + T(d) + \Delta = 0.052 + (0.072 - 0.020) + 0.020 = 0.124$$

对 1、2 孔的定位误差: 定位误差=0

5-1

答: (1) 主轴回转误差-在主轴运转的情况下, 轴心线位置的变动量叫做主轴回转误差

(2) 1. 纯轴向窜动 Δx , 2. 纯径向移动 Δr , 3. 纯角度摆动 $\Delta \gamma$

5-1 什么是主轴回转误差, 它包括哪些方面?

主轴在每一瞬时回转轴线相对于轴线平均线的变动量。它包括纯轴向窜动, 纯径向移动、纯角度摆动。

5-2 在卧式镗床上来用工件送进方式加工直径为 $\phi 200$ 的通孔时, 若刀杆与送进

方向倾斜 $\alpha = 1^\circ 30'$, 则在孔径横截面将产生什么样的形状误差? 其误差大小是多

少?

答: 圆度误差

$$\text{误差大小为 } \frac{200}{2} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) = 0.0343 \text{ mm}$$

5-3 在车床上车一直径为 $\phi 80 \text{ mm}$ 、长约 2000 mm 的长轴外圆, 工件材料为 45 钢,

切削用量为 2 m/s , $a_p = 0.4 \text{ mm}$, $f = 0.2 \text{ mm/r}$, 刀具材料为 YT15, 如只考虑刀具磨损引起的加工误差, 问该轴车后能否达到 IT8 的要求。

答:

$$\text{切削路程为 } l = \frac{\pi d L}{1000 f} = 2.5 \text{ km}$$

$$\text{刀具的尺寸磨损量可用式 } \mu \approx \mu_0 + \frac{K_\mu l}{1000}$$

查表得初始磨损为 $4 \sim 12$, $K_\mu = 8 \mu\text{m/km}$

$$\text{则得到因刀具引起的误差为 } 2\left(\mu_0 + \frac{8 \times 2.5}{1000}\right) \approx (40 + 8 \sim 24) \mu\text{m}$$

IT8 要求 $\phi 80 \text{ mm}$ 的公差精度为 $46 \mu\text{m}$, 明显可见误差大于公差要求, 则该轴车后不能达到 IT8 精度要求。

5-4 什么是误差复映? 误差复映系数的大小与哪些因素有关?

误差复映是指由于背吃刀量的变化引起了切削力的变化。变化的切削力作用在工艺系统上使它的受力变形也发生相应的变化。也就是将毛坯加工余量的变化复映到工件上的一种现象。

误差复映系数跟工艺系统的刚度有关, 刚度越高, 误差系数越小。若加工过程分多次走刀, 则总的误差复映系数为每次走刀复映系数的积。

5-6 在车床上用前后顶尖装夹, 车削长为 800 mm , 外径要求为 $\phi 50_{-0.04}^0 \text{ mm}$ 的工件

外圆。已知 $k_{\text{主}} = 10000 \text{ N/mm}$, $K_{\text{尾}} = 5000 \text{ N/mm}$, $K_{\text{刀架}} = 4000 \text{ N/mm}$, $F_y = 300 \text{ N}$,

试求

(1) 仅由于机床刚度变化所产生的工件最大直径误差, 并按比例画出工件的外形。

(2) 仅由于工件受力变形所产生的工件最大直径误差, 并按比例画出工件的外

形。

(3) 上述两种情况综合考虑后，工件最大直径误差多大？能否满足预定的加工要求？若不符合要求，可采取哪些措施解决。

答：

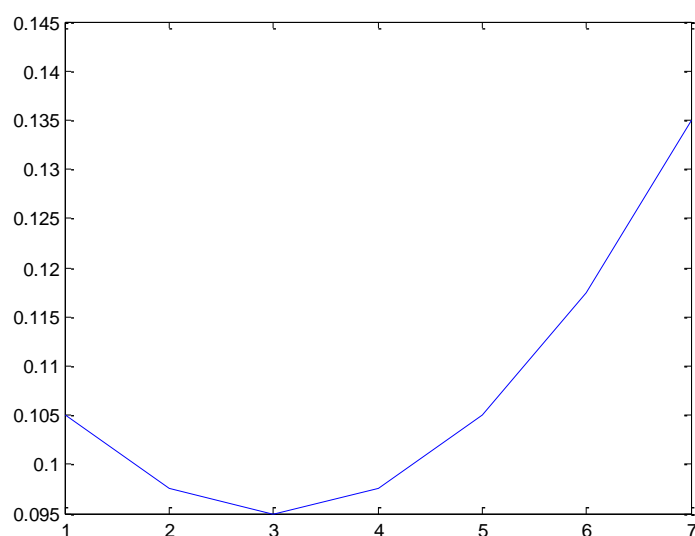
$$y_{\text{系统}} = F_y \left[\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{主}}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{k_{\text{尾}}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$$

1) 工艺系统的总位移为：

工艺系统位移如下

x	0	$\frac{1}{6}l$	$\frac{1}{3}l$	$\frac{1}{2}l$	$\frac{2}{3}l$	$\frac{5}{6}l$	l
$y_{\text{系统}}$	0.105	0.0975	0.0950	0.0975	0.1050	0.1175	0.1350

工件轴向最大直径误差为 $2 \times (y_{\text{尾}} - y_{l/3}) = 0.08\text{mm}$



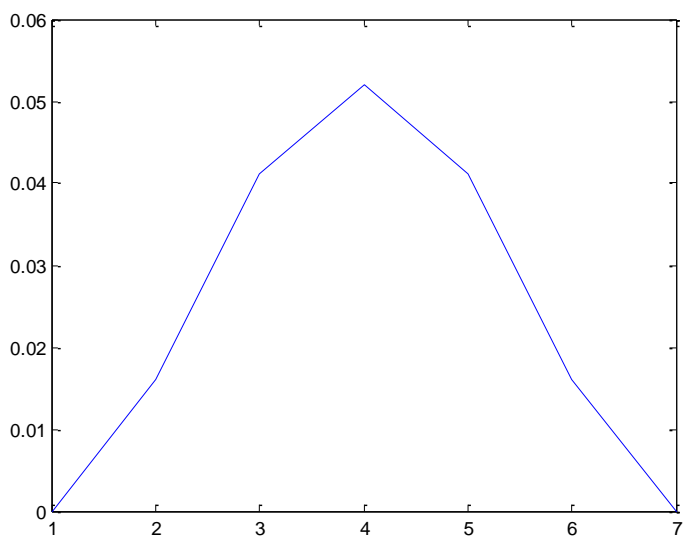
$$2) \quad y_{\text{工件}} = \frac{F_y}{3EI} \times \frac{(l-x)^2 x^2}{l}$$

设 $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, $I = \pi d^4 / 64 = 3.07 \times 10^5$

工艺系统位移如下

x	0	$\frac{1}{6}l$	$\frac{1}{3}l$	$\frac{1}{2}l$	$\frac{2}{3}l$	$\frac{5}{6}l$	l
$y_{\text{系统}}$	0	0.0161	0.0412	0.0521	0.0412	0.0161	0

工件轴向最大直径误差为 $2 \times y_{l/2} = 0.104\text{mm}$



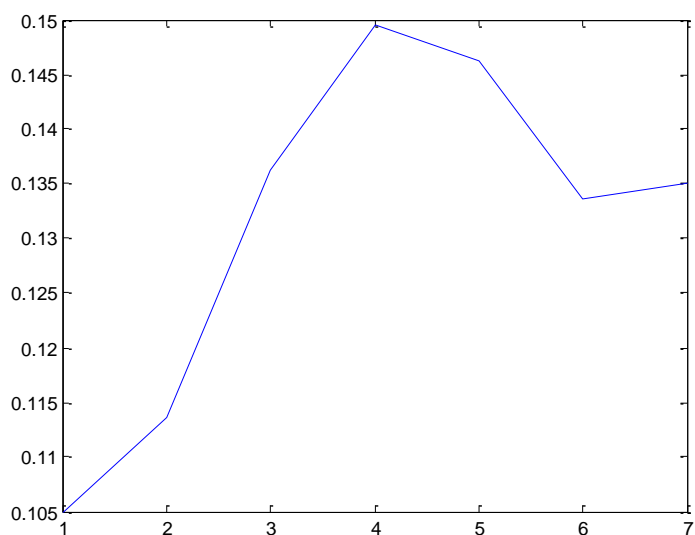
3) 综合分析，工艺系统位移公式

$$y_{\text{系统}} = F_y \left[\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{主}}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{k_{\text{尾}}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \frac{F_y}{3EI} \times \frac{(l-x)^2 x^2}{l} \right]$$

工艺系统位移如下

x	0	$\frac{1}{6}l$	$\frac{1}{3}l$	$\frac{1}{2}l$	$\frac{2}{3}l$	$\frac{5}{6}l$	l
$y_{\text{系统}}$	0.105	0.1136	0.1362	0.1496	0.1462	0.1336	0.1350

工件轴向最大直径误差为 $2 \times (y_{l/2} - y_0) = 0.0892mm$



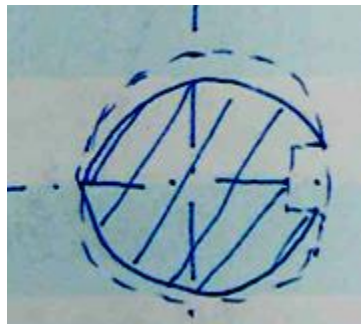
5-8 在卧式铣床上按图 5-97 所示装夹方式用铣刀 A 铣削键槽，经测量发现。工

件前两端处的深度大于中间的，且都比未铣键槽前的调整深度要小。试分析这一现象的原因。

答：根据工艺系统受力变形公式可知，工艺系统在中间的系统刚度小，故受力变形大，从而铣刀切入深度两端大于中间，从而工件两端处的深度大于中间的。同样工艺系统受力变形使得实际切入工件深度总比理论值要小，从而键槽深度都比未铣键槽前的调整深度要小。

5-9

解：经分析知：工件中间受力刚度差，变形量最大，故产生纵向腰鼓形。A-A 截



面加工后的截面形状如：

原因：圆柱开槽后在不同的径向方向上抗弯强度不同，故造成系统刚度不均匀。

减小误差措施：1.加强机床系统刚度；2.加大砂轮宽度；3.先磨削再加工槽。

5-11 基准不重合误差为 $0.06/2+0.04=0.07$

基准位移误差为 $(0.21+0.20)/2=0.205$

定位误差为： $0.205+0.07=0.905$

5-17 车削一批轴的外圆，其尺寸要求为 $\phi 20_{-0.1}^{0}mm$ ，若此工序尺寸按正态分布，

均方误差 $\sigma=0.025mm$ ，公差带中心小于分布曲线中心，其偏移量 $e=0.03mm$ 。

试指出该批工件的常值系统误差以及随机误差有多大？并计算合格品率以及不合格品率各是多少？

答：常值系统误差为 $e=0.03mm$ ，随机误差为 $6\sigma=0.105mm$

根据工件分布频率计算公式

$$F(\bar{x}, x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{\bar{x}}^x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx$$

$$F(19.98, 20) = 0.2881$$

$$F(19.98, 19.9) = 0.49931$$

则合格率为 $F(19.98, 20) + F(19.98, 19.9) = 0.78741$

不合格率为 0.216

5-26 车刀按图示方式安装加工时如有强烈震动发生，此时若将车刀反装，或采用前后刀架同时车削，或设法将刀具沿工件旋转方向转过某一角度装夹在刀架上，加工中的振动就可能会消失或减弱，试分析其原因。

答：

- A、强烈振动原因：工艺系统刚度差；
- B、升高刀具位置和改变工件转向，削弱自激振动
- C、采用两刀加工，平衡切削力，提高工艺系统刚度
- D、增大实际工作前角，使切削刚度下降，从而减小振动。

6-3 答：

- ①、零件获得尺寸精度的方法：试切法、定尺寸刀具法、调整法、自动控制法。
- ②、零件获得形状精度的方法：轨迹法、成形法、展成法。
- ③、零件获得位置精度的方法：找正法、装夹法。

6-7 答：

(1) 粗基准的选择原则：①选重要表面做粗基准 ②选不加工面做粗基准 ③粗基准一个方只向用一次 ④选定位夹紧可靠的表面做粗基准。

(2) 精基准的选择原则：①基准重合 ②基准统一 ③自为基准 ④互为基准

(3) 由于粗基准面的定位精度很低，所以粗基准面在同一个尺寸方向上通常只允许使用一次，否则定位误差太大。

6-8 答：

(a) 1、以外圆为粗基准加工内孔和一端面；2 以内孔和已加工端面定位加工外圆和另一端面。

(b) 以不加工外圆为粗基准加工内孔，大外圆和小孔、端面。

(c) 1、以外圆为粗基准加工内孔，大端面和大端圆 2、以内孔和大头端面为精基准加工外圆和小孔。

(d) 1、以两孔为粗基准加工上下两端面 2、以一端面为精基准加工两孔。

6-9 答：

(1) 机械加工过程的划分：

- ①、粗加工阶段
- ②、半精加工阶段
- ③、精加工阶段
- ④、光整加工阶段

(2) 划分原因：

- ①、合理的划分加工阶段可以合理的使用机床
- ②、对保证加工质量有利
- ③、妥善安排热处理
- ④、及时发现缺陷

6-10 答:

E、工序集中原则工艺特征:

- ①、生产率高
- ②、减少了操作工人和生产面积
- ③、缩短了工艺路线
- ④、缩短了加工周期
- ⑤、位置精度高
- ⑥、维修费事，生产准备量大

适用场合：多工位组合机床，加工中心，柔性生产线等单件小批量生产

F、工序分散原则工艺特征:

- ①、机床装备调整容易
- ②、对工人技术要求低
- ③、生产准备工作量小
- ④、容易变换产品
- ⑤、设备数量多，工人数量多，生产面积大

适用场合：大批大量生产

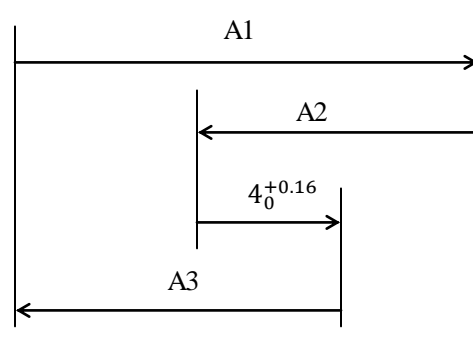
6—13:

a)增环: $A_1, A_2, A_4, A_5, A_7, A_8$, 减环: A_3, A_6, A_9, A_{10}

b)增环: A_1, B_1, B_2, B_3 , 减环: A_2, A_3, B_4 ,

c)增环: C_1, D_1, D_2 减环: C_2, D_3

6-16



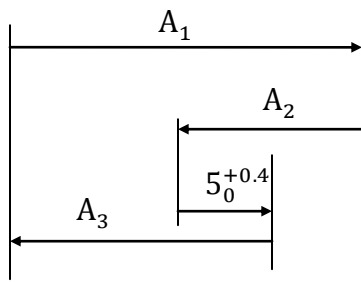
$$A1 = 14.25^{0}_{-0.05}$$

$$A3 = 14^{+0.012}_{-0.004}$$

$$A2 = 4^{+0.414}_{+0.188}$$

$$\Delta = 0.414 - 0.188 = 0.226$$

6-17
解：



$$A_1 = 50_{-0.1}^0 \quad \Delta_1 = 0.1$$

$$A_2 = 30_0^{+0.1} \quad \Delta_2 = 0.1$$

$$A_3 = 25_0^{+0.2} \quad \Delta_3 = 0.2$$

6-20

- (1) 完全互换装配法：用控制零件加工误差来保证装配精度。统计互换装配法：零件公差值平方和的平方根小于或等于装配公差。
- (2) 前者适用于任何生产类型，后者适用于大批量生产。