



数控加工技术

第1章 绪论

第2章 数控加工基本知识

第3章 数控加工方法

第4章 数控机床夹具

第5章 数控加工工艺

第6章 典型零件加工工艺的制订

第7章 机械加工质量



返回

1.1

数控加工技术的发展历史

1.2

数控加工技术的发展趋势

1.1 数控加工技术的发展历史

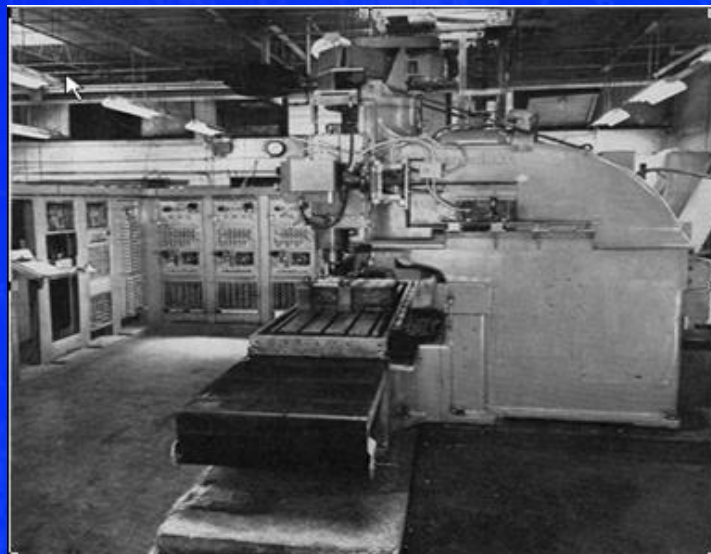
返回

数字控制（numerical control，简称为NC）技术是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现控制一台或多台机械设备动作的技术。GB/T 8129—1997《工业自动化系统机床数值控制词汇》中对NC的定义为“用数值数据的控制装置，在运行过程中不断地引入数值数据，从而对某一生产过程实现自动控制”。

数控机床是用数字化信号对机床的运动进行控制的机床。也可以说，数控机床是装备了数控系统的机床。它是一种自动化程度很高的机电一体化加工设备，是数控技术与传统加工技术相结合的产物。早期的数控机床控制系统采用逻辑元件、记忆元件构成逻辑电路，属于固定接线的硬件结构。

1.1 数控加工技术的发展历史

1952年，美国MIT研制出世界上第一台**数控机床**。数控机床的问世成为机械工业史上一件划时代的事件，推动了机械自动化的发展。1955年，用于制造航空零件的**数控铣床**在美国正式问世。此后其他一些工业国家，如德国、日本、英国、前苏联等相继开始开发、研制和应用数控机床。



世界上第一台数控机床

数控机床的发展简况

第1代数控机床：1952年～1959年采用电子管元件构成的专用数控装置（NC）。

第2代数控机床：从1959年开始采用晶体管电路的NC系统。

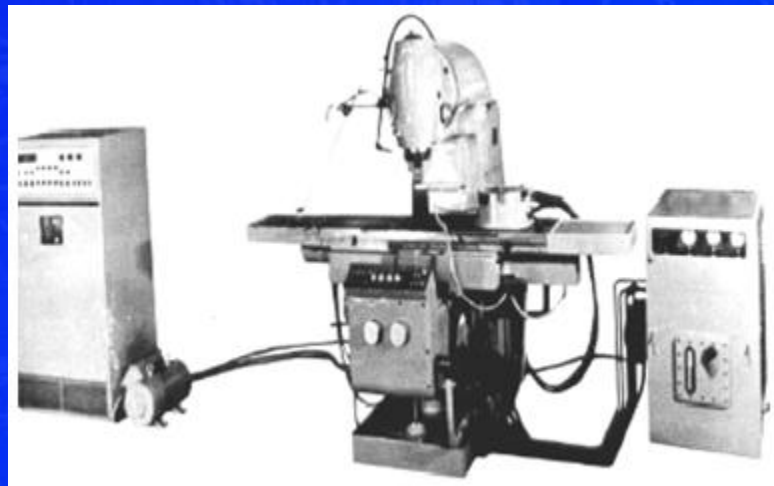
第3代数控机床：从1965年开始采用小、中规模集成电路的NC系统。

第4代数控机床：从**1970**年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统（**CNC**）。

第5代数控机床：从**1974**年开始采用微型计算机控制的系统（**MNC**）。

1.1 数控加工技术的发展历史

1958年，中国数控机床的研制开始起步，北京第一机床厂与清华大学合作试制了中国第一台三坐标数控机床X53K1。它利用数控系统来控制机床的工作台、横向滑鞍以及立铣头的进给运动，实现了三坐标联动。现在我国很多机床厂家都能生产各类数控机床，数控机床在制造业中的应用也越来越广泛。



中国第一台数控机床

我国数控机床发展概况

1958年开始并试制成功第一台电子管数控机床。1965年开始研制晶体管数控系统，直到20世纪60年代末至70年代初成功。从20世纪80年代开始，先后从日本、美国、德国等国家引进先进的数控技术。如北京机床研究所从日本FANUC公司引进FANUC3、FANUC5、FANUC6、FANUC7系列产品的制造技术；上海机床研究所引进美国GE公司的MTC-1数控系统等。

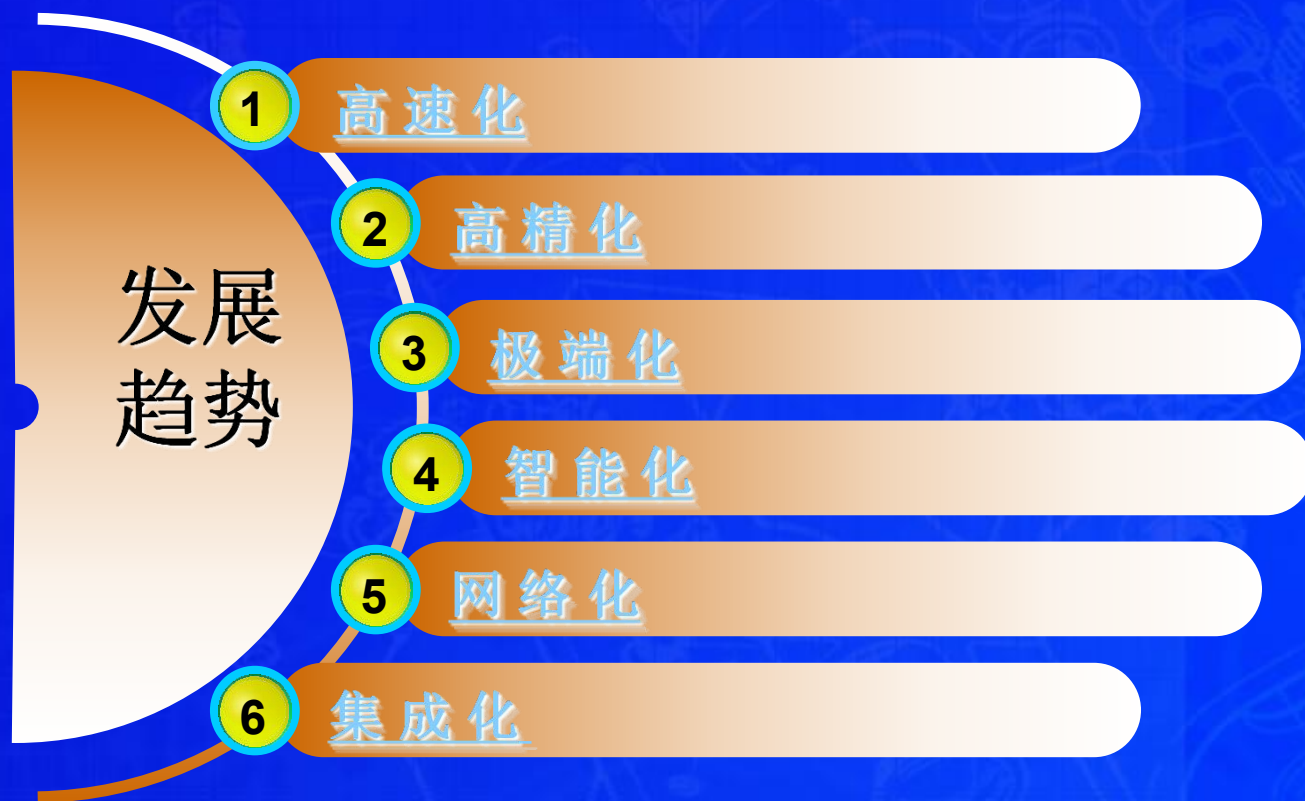
- 数控机床的发展趋势

从数控机床技术水平看，高精度、高速度、高柔性、多功能和高自动化是数控机床的重要发展趋势。

数控系统都采用了**16位和32位**微处理器，标准总线及软件模块和硬件模块结构，内存容量扩大到**1MB**以上，机床分辨率可达**0.1 μ m**，高速进给可达**100m/min**，控制轴数可达**16**个。

1.2 数控加工技术的发展趋势

返回



1.2 数控加工技术的发展趋势



返回

1.高速化

高速化已是现代机床技术发展的重要方向之一，机床高速化既表现在主轴转速上，也表现在工作台快速移动和进给速度的提高，以及刀具交换时间、托盘交换时间的缩短上。高速切削提升了加工精度，也改善了加工面的表面质量。

2.高精化

现在精整加工所需精度已提高到 $0.1\ \mu\text{m}$ ，加工精度进入了亚微米级。热变形误差补偿和空间误差综合补偿技术能大大提高加工精度。研究表明，应用综合误差补偿技术可将加工误差减少60%~80%。

1.2 数控加工技术的发展趋势

返回

3. 极端化

极端化是指生产特殊产品的制造技术必须达到“极”的要求。例如，能在高温、高压、高湿、强冲击、强磁场、强腐蚀等条件下工作，或具有高硬度、大弹性等特点，或超大、超微、超厚、超薄。

4. 智能化

智能化的内容包括在数控系统中的各个方面：加工效率和加工质量方面的智能化包括加工过程的自适应控制、工艺参数自动生成，驱动性能及使用连接方面的智能化包括前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等，简化编程和简化操作方面的智能化包括自动编程、人机界面等，除此之外，还有智能诊断、智能监控等方面的内容，以方便系统的诊断及维修。

1.2 数控加工技术的发展趋势



返回

5.网络化

具有联网功能正逐渐成为现代数控设备的特征之一，如数控机床的远程故障诊断、远程状态监控、远程加工信息共享、远程操作、远程培训等都是以前网络功能为基础的。

6.集成化

集成化一方面表现为数控机床向柔性自动化发展，即其控制从点（数控单机、加工中心和数控复合加工机床）、线（柔性制造单元FMC、柔性制造系统FMS、柔性生产线FTL、柔性制造生产线FML）向面（工段车间独立制造、工厂自动化FA）、体（计算机集成制造系统CIMS、分布式网络集成制造系统）的方向发展，另一方面表现为向注重应用性和经济性方向发展。

第2章 数控加工基本知识



返回

2.1

金属切削运动及其形成的表面

2.4

数控加工基本知识加工过程中的主要现象及基本规律

2.2

刀具切削部分的几何参数

2.5

工件的安装、定位与夹紧

2.3

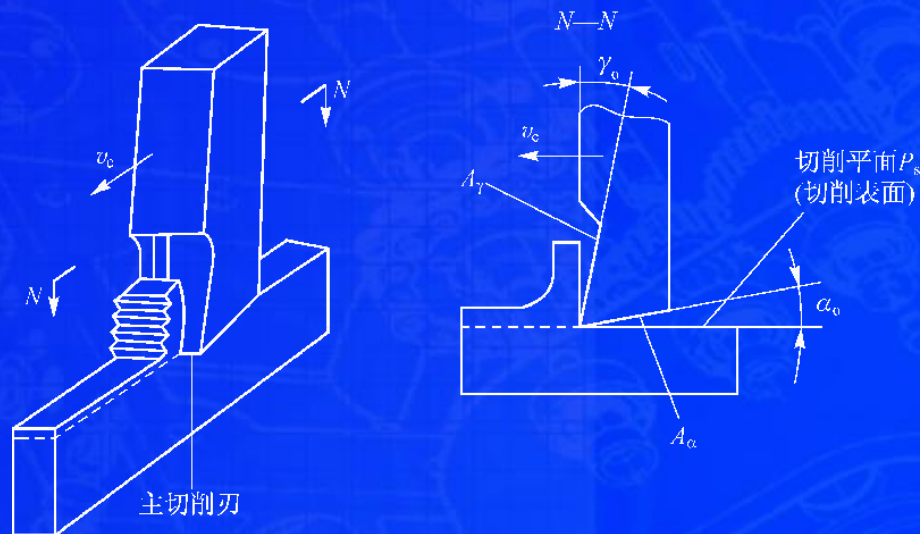
刀具的材料

2.1 金属切削运动及其形成的表面

返回

金属切削过程是指工件上多余的金属被刀具切除的过程和已加工表面形成的过程。在这个过程中始终存在着刀具与工件（金属材料）之间**切削和抗切削**的矛盾，并产生一系列重要现象，如切屑的形成、切削力、切削热与切削温度及积屑瘤等。

在对金属切削过程进行实验研究时，常用的切削模型是**直角自由切削**。所谓自由切削，就是只有一个直线切削刃参加切削。

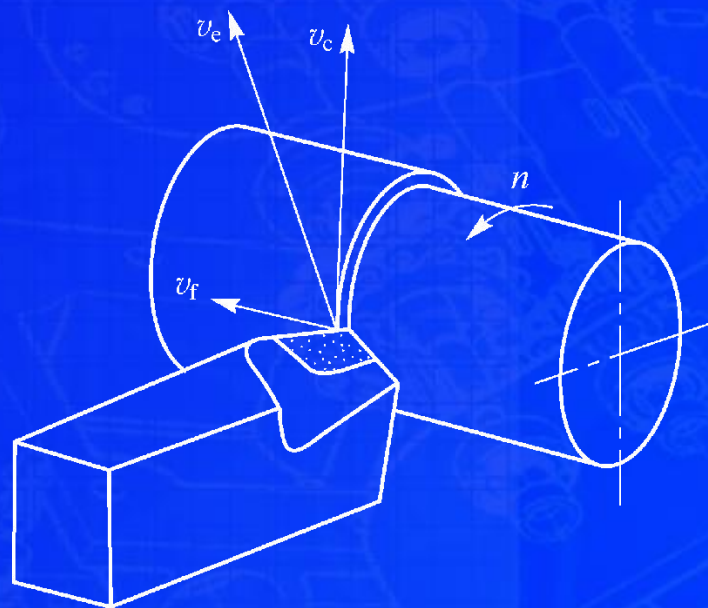


直角自由切削模型

2.1 金属切削运动及其形成的表面

2.1.1 切削运动

刀具与工件之间的相对运动称为*切削运动*。以车削工件外圆表面为例，切削运动可分为主运动和进给运动。



车削工件外圆表面

2.1 金属切削运动及其形成的表面

2.1.1 切削运动

主运动

主运动的特点是速度最高，消耗功率最大；主运动的运动形式可以是旋转运动，也可以是直线运动；可由工件完成，也可由刀具完成。车削时，主运动是工件的回转运动；铣削时，主运动是刀具的旋转运动。

进给运动

进给运动使刀具与工件之间产生附加的相对运动。车削时，车刀相对于工件在纵向和横向上的平移运动；铣削时，工件相对于刀具的纵向、横向、垂直方向的平移运动。

合成运动

当主运动和进给运动同时进行时，切削刃上某一点相对于工件的运动为合成运动，常用合成速度 v_c 来表示

2.1 金属切削运动及其形成的表面

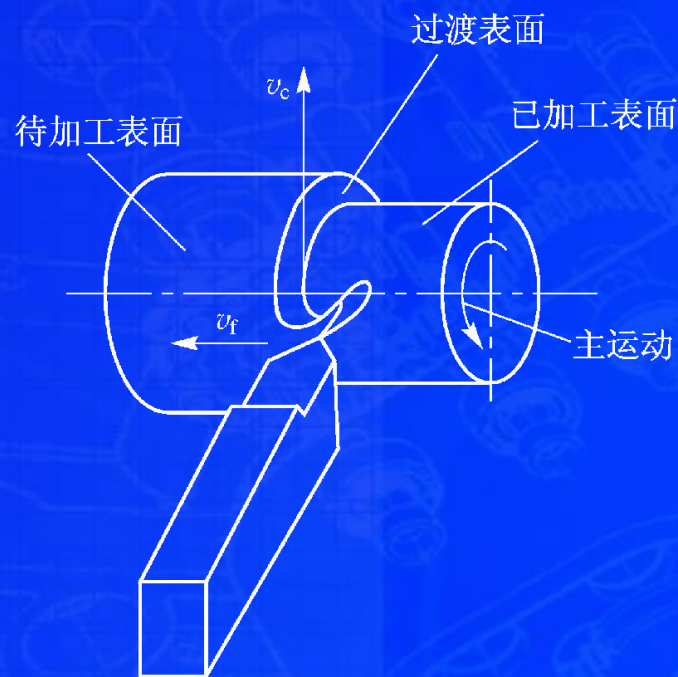
2.1.2 切削中形成的工件表面

在切削过程中，工件上有三个不断变化着的表面：

(1) 待加工表面。工件上即将被切去金属层的表面。

(2) 过渡表面。工件上由切削刃正在形成的那部分表面。它在切削过程中不断变化，位于待加工表面和已加工表面之间。

(3) 已加工表面。工件上经刀具切去多余金属层后而形成的新表面。



工件上的三个表面

2.2 刀具切削部分的几何参数



返回

2.2.1 刀具的构成

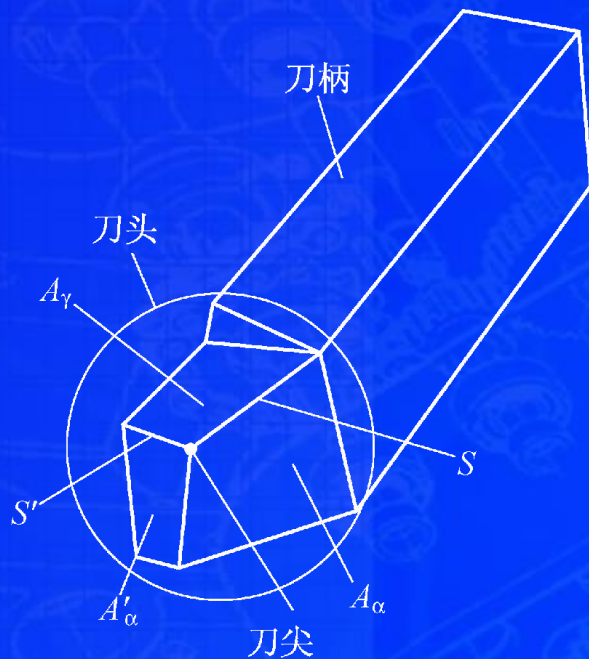
刀具的几何参数包括刀具的切削角度、刀面的形式以及切削刃的形状。刀具的**合理几何参数**是指在保证加工质量的前提下，能够获得**最高刀具耐用度**，从而能达到提高切削效率，降低加工成本目的的几何参数。

刀具都是由工作部分和非工作部分构成。不论刀具结构如何复杂，就其单刀齿切削部分而言，**都可以看成由外圆车刀的切削部分演变而来**。本节以外圆车刀为例来介绍其几何参数。外圆车刀的工作部分比较简单，只由切削部分（即刀头）构成，非工作部分就是车刀的柄部（或刀杆）。

2.2 刀具切削部分的几何参数

2.2.1 刀具的构成

切屑流过的表面叫**前刀面**，以 A_γ 表示。与工件上过渡表面相对的表面称为**主后刀面**，以 A_α 表示。与工件上已加工表面相对的表面称为**副后刀面**，以 A'_α 表示。前刀面与主后刀面的交线称为**主切削刃**，以 S 表示，它承担主要的切削工作。前刀面与副后刀面的交线称为**副切削刃**，以 S' 表示。刀尖是3个刀面在空间的交点，也可理解为主、副切削刃两条刀刃汇交的一小段切削刃。



外圆车刀的结构

2.2 刀具切削部分的几何参数

2.2.2 刀具的标注角度

要确定和测量刀具角度，必须引入一个空间坐标参考系。常见的参考系有工作坐标系—动态参考系—工作角度和标注坐标系—静态参考系—标注角度，前者是确定刀具切削运动中角度的基准；后者是刀具设计计算、绘图标注、刃磨测量角度时的基准，是刀具假定条件下的工作角度。

确定刀具标注角度参考系时需做两个假定。

(1) 假定运动条件。给出刀具假定主运动方向和假定进给方向，而不考虑进给运动的大小。

(2) 假定安装条件。刀具安装基准面垂直于主运动方向，刀杆的中心线与进给运动方向垂直，刀具刀尖与工件中心轴线等高。

2.2 刀具切削部分的几何参数

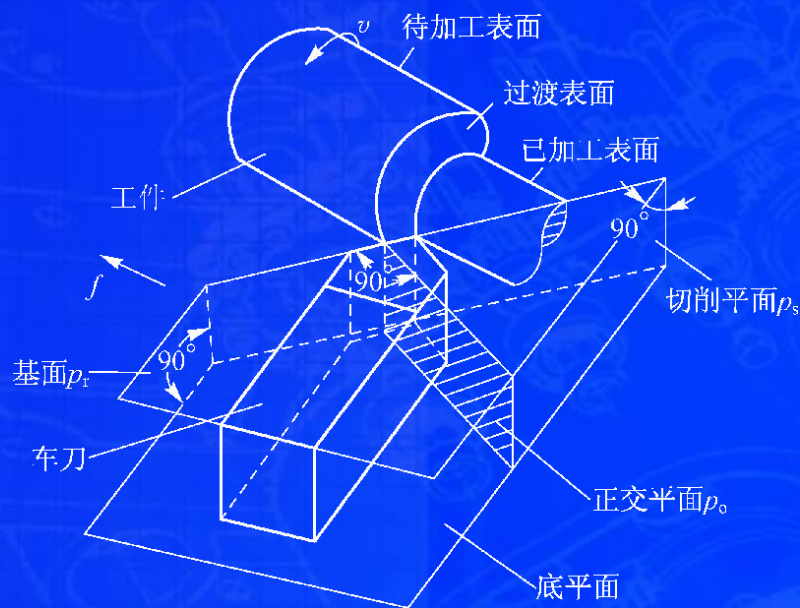
2.2.2 刀具的标注角度

刀具设计计算、绘图标注、刃磨测量角度时依据静态参考系，也就是以正交平面参考系 $p_0-p_s-p_0$ 为基准。

(1) 基面。基面 p_r 是通过主切削刃上选定点，垂直于该点切削速度方向的平面。

(2) 切削平面。切削平面 p_s 是通过主切削刃上选定点，与主切削刃相切，且垂直于该点基面的平面。

(3) 正交平面。正交平面 p_0 是通过主切削刃上选定点，垂直于基面和切削平面的平面。



正交平面参考系

2.2 刀具切削部分的几何参数

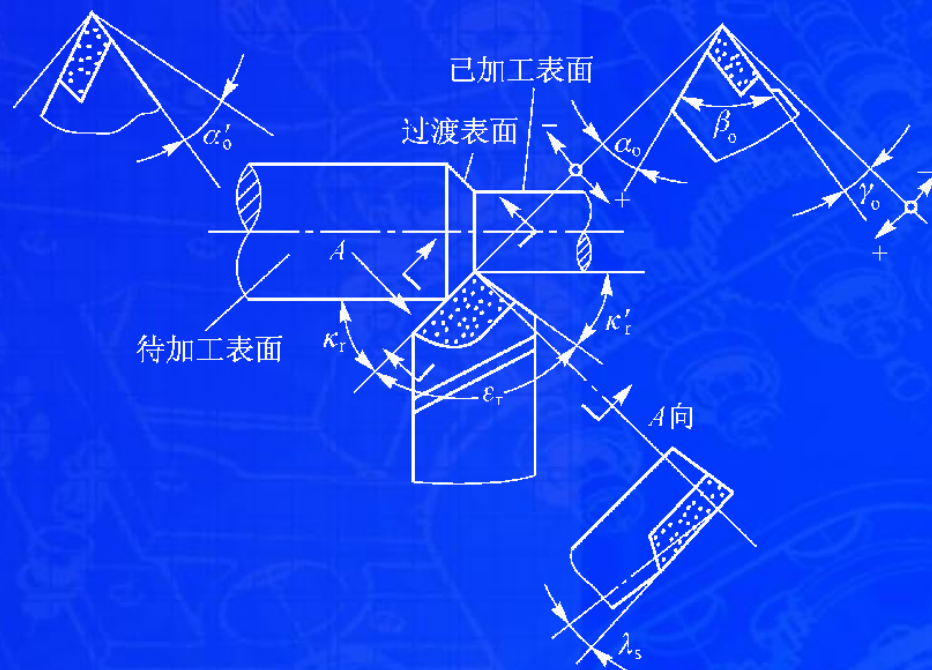
2.2.2 刀具的标注角度

基面中测量的刀具角度包括主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 和刀尖角 ε_r

$$\varepsilon_r = 180^\circ - \kappa_r + \kappa'_r$$

刃倾角 λ_s 是指主切削刃与基面间的夹角，刃倾角有正负之分也可为0。

正交平面中测量的刀具角度包括前角 γ_o 、后角 α_o 和楔角 β_o 。



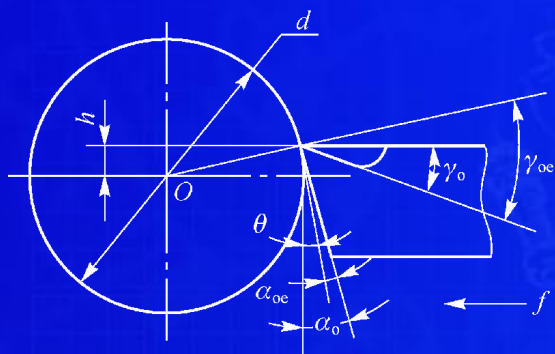
刀具的各个角度

2.2 刀具切削部分的几何参数

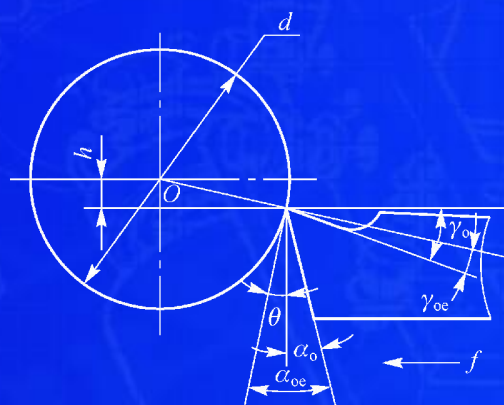
2.2.3 工作情况下角度的变化

当刀尖高于工件轴线时，工作前角变大，工作后角减小；当刀尖低于工件轴线时，工作前角变小，工作后角增大。

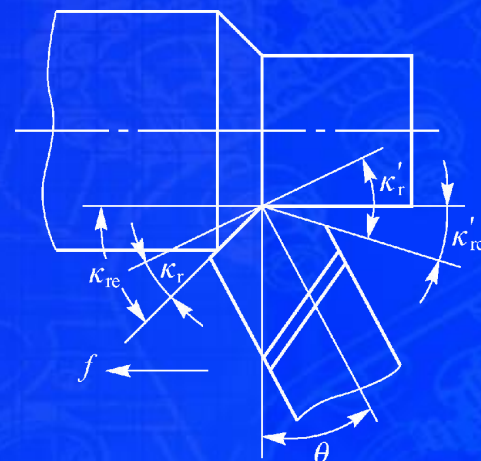
刀柄的纵向轴线与进给方向不垂时，将引起工作主偏角 κ'_{re} 和工作副偏角 κ'_{re} 的变化。



刀尖高于工件轴线



刀尖低于工件轴线



刀柄轴线安装倾斜对工件角度的影响

2.2 刀具切削部分的几何参数

3.工作情况下角度的变化

纵向进给时，实际的切削平面和基面都要偏转一个附加的螺旋升角，使车刀的工作前角增大，工作后角减小。一般车削时，进给量比工件直径小很多，故螺旋升角很小，它对车刀工作角度影响不大，可忽略不计。

横向进给时，实际的切削平面和基面都要偏转一个附加的螺旋升角，使车刀的工作前角增大，工作后角减小。在车端面、切断和车外圆进给量（或加工螺纹的导程）较大时，则应考虑螺旋升角的影响。

2.2 刀具切削部分的几何参数

2.2.4 刀具角度的选择

1. 前角的选择

前角的大小决定切削刃的锋利程度和强固程度，直接影响切削过程。前角有正前角和负前角之分。采用正前角能减小切屑被切下时的塑性变形和切屑流出时与前面的摩擦阻力，从而可减小切削力和切削热，使切削轻快，提高刀具寿命，并提高已加工表面质量。采用负前角能改善刃部受力状况和散热条件，提高切削刃强度和耐冲击能力。

2. 后角的选择

后角的作用主要是减小后刀面与过渡表面和已加工表面之间的摩擦，影响楔角的大小，从而可配合前角调整切削刃的强度和锋利程度。它还影响刀具耐用度和加工表面质量，适当增大后角可提高刀具耐用度。但后角过大时，将使楔角过小，这会削弱切削刃强度，减小散热体积而使刀具耐用度降低。所以，在一定条件下，后角也有一个对应于最高刀具寿命的合理数值。

2.2 刀具切削部分的几何参数

2.2.4 刀具角度的选择

3.主偏角的选择

主偏角对刀具耐用度影响很大，主偏角减小，则刀尖角增大，使刀尖强度提高，散热体积增大，刀具耐用度提高。减小主偏角可以使工件表面残留面积高度减小，从而使已加工表面粗糙度值减小。增大主偏角会使切削层厚度增厚，切削层宽度减小，有利于切屑折断，有利于孔加工刀具使切屑沿轴向顺利流出。

4.副偏角的选择

副偏角的大小主要影响刀具耐用度和已加工表面质量。减小副偏角可以减小副切削刃及副后刀面与已加工表面之间的摩擦。但副偏角过小会增加参加切削工作的刀刃长度，增加副后刀面与已加工表面间的摩擦，同时也易引起振动；而副偏角过大将致使刀尖强度降低和散热条件恶化，结果导致刀具耐用度降低。在副偏角较小时，加工表面粗糙度值较小。

2.2 刀具切削部分的几何参数

2.2.4 刀具角度的选择

5. 刀尖形状及尺寸选择

刀尖部分的形状对已加工表面的粗糙度值也有很大的影响，若采用减小主、副偏角的办法增强刀尖，常会使背向力增大，引起振动；若在主、副刃之间磨出倒角刀尖，即具有直线切削刃的刀尖，既可使刀尖角加大，从而增强了刀尖，又不使背向力增加很多。

6. 刃倾角的选择

加工一般钢料和灰铸铁时，粗车时取 $-5^{\circ} \sim 0^{\circ}$ ，精车时取 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ；有冲击负荷时取 $-15^{\circ} \sim -5^{\circ}$ ；当冲击特别大时，可取 $-45^{\circ} \sim -30^{\circ}$ 。加工高强度钢、高锰钢、淬硬钢时，可取 $-15^{\circ} \sim -5^{\circ}$ 或将负数的绝对值取得更大一些。工艺系统刚性不足时，尽量不采用负刃倾角。

2.3 刀具的材料



返回

2.3.1 数控加工刀具的性能要求

- (1) 较好的刚性（尤其是粗加工刀具），精度高，抗振及热变形小；具有很高的切削效率。
- (2) 良好的互换性，便于快速换刀。
- (3) 有很高的可靠性和耐用度，寿命高，切削性能稳定、可靠。
- (4) 要能实现刀具尺寸的预调，便于尺寸调整，以减少换刀调整时间，提高加工效率。
- (5) 刀具应能可靠地断屑或卷屑，以便于切屑的排除。
- (6) 刀具应系列化，标准化，以便于编程和刀具管理。
- (7) 应有在线监控及尺寸补偿系统。

2.3 刀具的材料

2.3.2 常用的刀具材料

1. 高速钢

高速钢是一种加入较多钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金钢。

(1) 按用途分。高速钢可分为通用型高速钢和高性能高速钢。

(2) 按制造工艺分。高速钢可分为熔炼高速钢、粉末冶金高速钢和表面涂层高速钢。

(3) 按基本化学成分分。高速钢可分为钨系高速钢和钼系高速钢。

2. 硬质合金

硬质合金是将高硬度和高熔点的金属碳化物（碳化钨WC、碳化钛TiC、碳化钽TaC、碳化铌NbC等）和金属黏结剂（Co、Mo、Ni等）用粉末冶金工艺制成。常用硬质合金有钨钴类硬质合金、钨钛钴类硬质合金、钨钛钴钽（铌）类硬质合金等。

2.3 刀具的材料

2.3.2 常用的刀具材料

3. 涂层刀具材料

目前常用的涂层方法是化学气相沉积法和物理气相沉积法，其他方法如等离子喷涂、火焰喷涂、电镀、溶盐电解等还存在较大的应用局限性。

常用的涂层材料有碳化物、氮化物、碳氮化物、氧化物、硼化物、硅化物、金刚石及复合涂层8大类数十个品种。在这些涂层材料中，用得最多的是TiC、TiN、金刚石以及复合涂层等，涂层厚度随刀具材料不同而不同。

4. 其他刀具材料

其他刀具材料包括陶瓷刀具材料、金刚石刀具材料和立方氮化硼等。

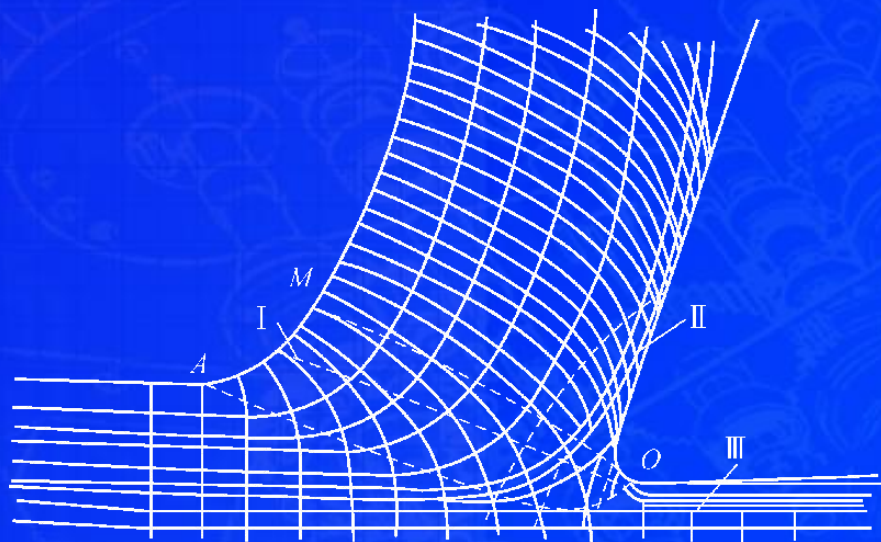
2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

返回

2.4.1 切削变形

1. 切屑的形成过程

金属切削是指被切金属层在刀具的挤压、摩擦作用下产生变形后转变为切屑和形成已加工表面。根据金属切削实验可以绘出金属切削过程中的变形滑移线和流线以及三个变形区。

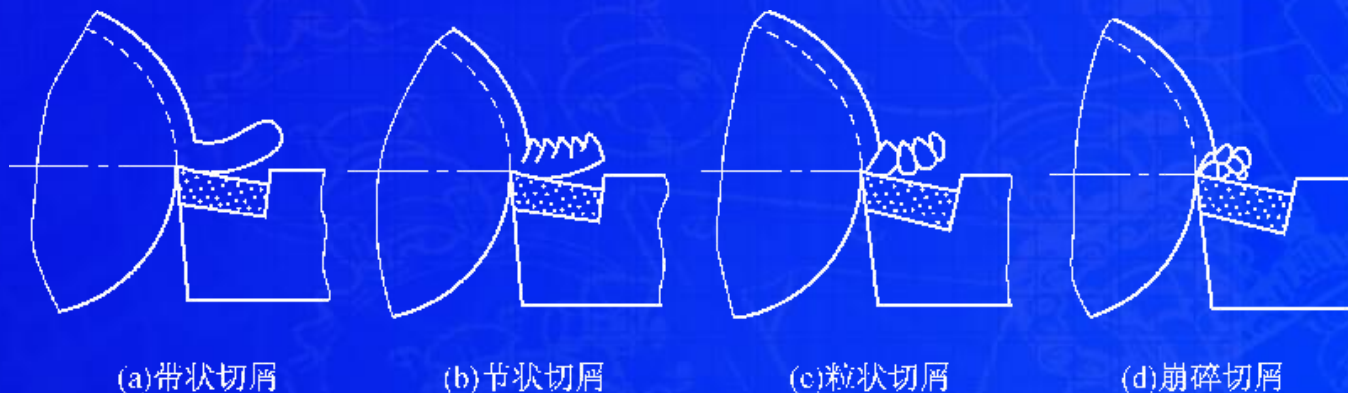


- ◆第I变形区位于切削刃和前刀面的前方，是三个变形区中最大的，为主变形区。
- ◆第II变形区是与前刀面相接触的附近区域，切屑沿前刀面流出时，受到前刀面的挤压和摩擦，靠近前刀面的切屑底层会进一步发生变形。
- ◆第III变形区是已加工表面靠近切削刃处的区域，这一区域金属受到切削刃钝圆部分和后刀面的挤压、摩擦及回弹，发生变形造成加工硬化。

2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.1 切削变形

2.切屑的类型和形态



◆如果切屑在滑移后尚未达到破裂程度，则形成连绵不断、底面光滑的带状切屑◆如果切屑的滑移变形比较充分，以至于达到破裂程度产生一节节裂纹，但每一裂纹上下尚未贯穿，仅背面裂开，底面仍较光滑，这种切屑称为节状切屑

◆当发生裂纹上下贯穿时，便形成粒状切屑

◆在切削脆性材料时，被切削层几乎不经过塑性变形就产生脆性崩裂，形成崩碎切屑

2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

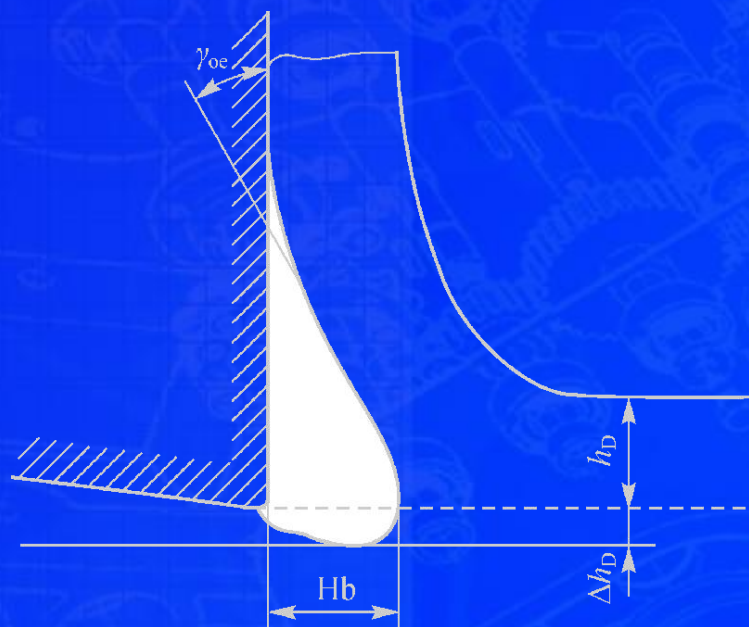
2.4.1 切削变形

3. 积屑瘤

在切削速度不高而又能形成连续性切屑的情况下，加工一般钢材或其他塑性材料时，常常在刀具前刀面切削刃处黏结着一块剖面呈楔形的硬块，这块冷焊在前刀面上的金属就称为积屑瘤。

积屑瘤能够保护刀具、增大了实际前角、影响工件表面质量和尺寸精度。

积屑瘤形成的因素主要有工件材料、前角、切削速度和进给量。

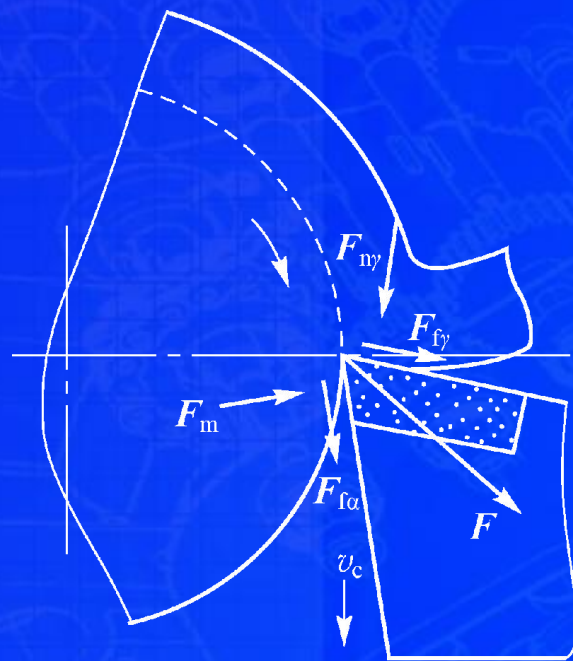


积屑瘤

2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.2 切削力

切削力主要来源于工件被切削层在形成切屑过程中的变形。在切削时，由于刀具对被切削层的挤压作用，迫使被切削层产生弹性变形与塑性变形，因此，被切削层对刀具就有一个反作用力，称为变形抗力 F_{ny} ，垂直作用在前刀面上；同时，由于切屑沿前刀面流出，因此相应还有一个摩擦力 F_{fy} 作用在前刀面上，当变形抗力 F_{fy} 增大或减小时，摩擦力 F_{fy} 也相应增大或减小。此外，工件的切削表面对刀具后刀面还作用着变形抗力 F_m 与摩擦力 $F_{f\alpha}$ 。这些力的合力即为切削力 F 。



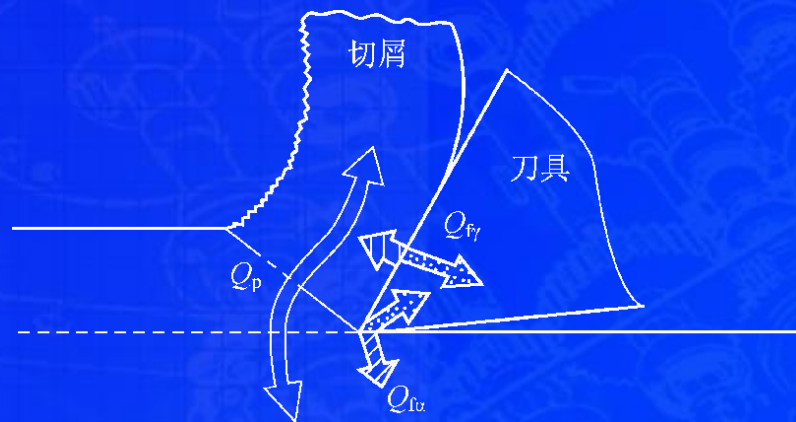
切削力

2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.3 切削热与切削温度

1. 切削热的产生和传出

切削热来自切削层金属发生弹性和塑性变形产生的热量 Q_p 及切屑与前刀面、工件与后刀面摩擦产生的热量 Q_{fy} 和 Q_{fc} ，切削过程中上述变形与摩擦消耗的功绝大部分（99%）转化为热能。



切削热的产生和传出

2. 影响切削温度的主要因素

影响切削温度的主要因素有工件材料、刀具的几何参数、切削用量和其他因素。

其中，切削用量主要包括切削速度、进给量和背吃刀量。

2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.3 切削热与切削温度

3. 切削液

切削时，用来降低切削温度并减小刀具与工件之间摩擦的液体称为切削液，又称为冷却润滑液。

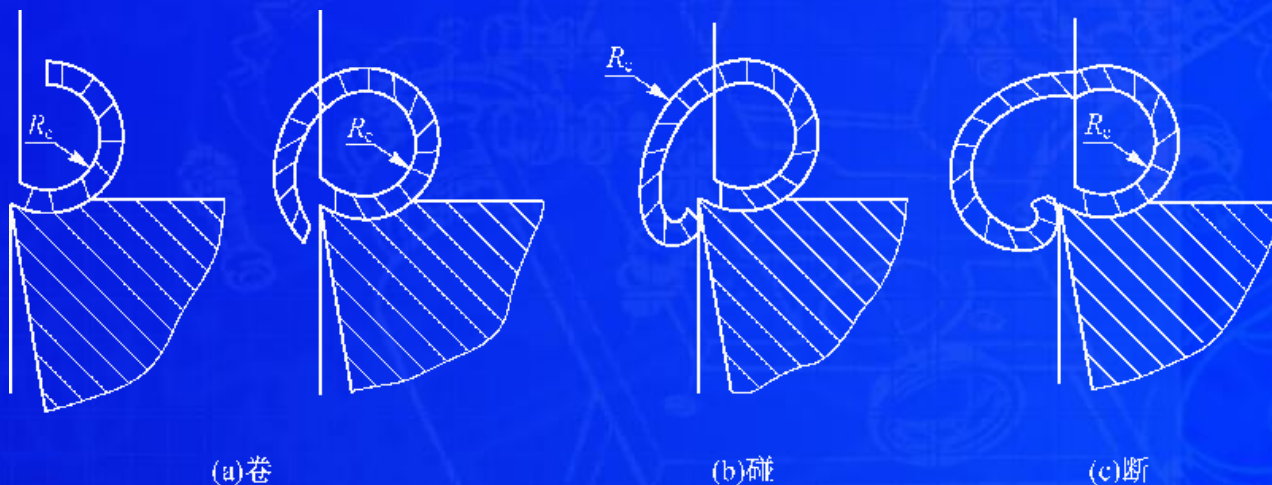
在切削过程中，由于刀具与工件表面的切削层及已加工表面产生强烈的挤压和摩擦，以致产生大量的切削热，从而使切削区的温度急剧升高，切削条件变坏，甚至使刀具丧失切削能力。切削加工（特别是高速切削或切削难加工材料）时使用切削液可以改善切削条件，从而能高效率地获得高质量的工件。与切削液有相似功效的还有某些气体和固体，如压缩空气、二硫化铝和石墨等。

2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.4 断屑影响因素及其方法

1. 断屑过程

切屑在形成过程中逐步扩张，当切屑端部碰到刀具断屑槽台阶时，切屑发生卷曲变形，继续扩张到与后刀面或工件碰上时，切屑折断。因此，切屑的折断过程是卷—碰—断。对于螺旋形切屑，它可由自身质量和旋转折断。



2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.4 断屑影响因素及其方法

2.影响断屑的因素

影响断屑的因素有断屑槽的形状、断屑槽的宽度、断屑槽斜角及切削用量。

1) 断屑槽的形状

常用断屑槽有直线圆弧形、直线形和圆弧形三种。

2) 断屑槽的宽度

断屑槽的宽度对断屑的影响很大。一般来讲，槽宽越小，切屑的卷曲半径 R_c 越小，切屑上的弯曲应力越大，越易折断。

3) 断屑槽斜角

断屑槽的侧边与主切削刃之间的夹角称为断屑槽斜角，用 τ 表示。常用的断屑槽斜角有外斜式、平行式和内斜式三种形式。

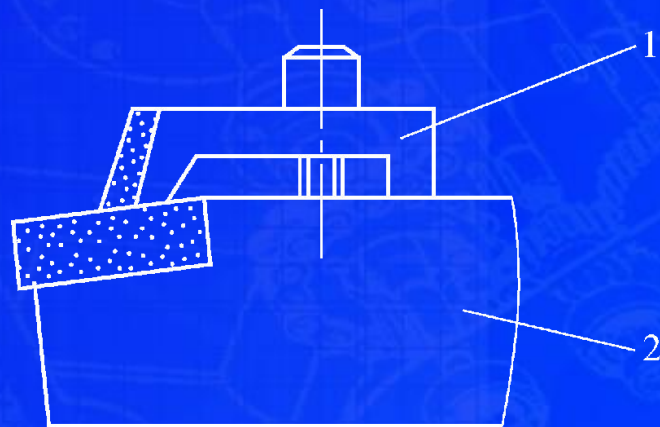
2.4 切削加工过程中的主要现象及基本规律

2.4.4 断屑影响因素及其方法

3. 常用断屑方法

断屑常用方法如下：

- (1) 用断屑槽断屑。
- (2) 用断屑台断屑。
- (3) 用挡屑板断屑。
- (4) 选用适当的切削用量和几何参数使其断屑。
- (5) 采用程序断屑。



挡屑板断屑

1—挡屑板； 2—车刀

2.5 工件的安装、定位与夹紧

返回

2.5.1 工件的安装

1. 直接安装

直接安装工件无须另行找正即可夹紧，称为直接安装。例如，利用三爪卡盘或电磁吸盘安装工件。

2. 找正安装

有时直接安装需要以工件上某个表面或划线作为找正工件的基准，用划针或百分表找正后再夹紧，称为找正安装。例如，在机床工作台上安装工件或用四爪卡盘安装工件。

找正安装的定位精度和工作效率取决于找正面（或划线）的精度、找正方法、所用工具和工人技术水平。

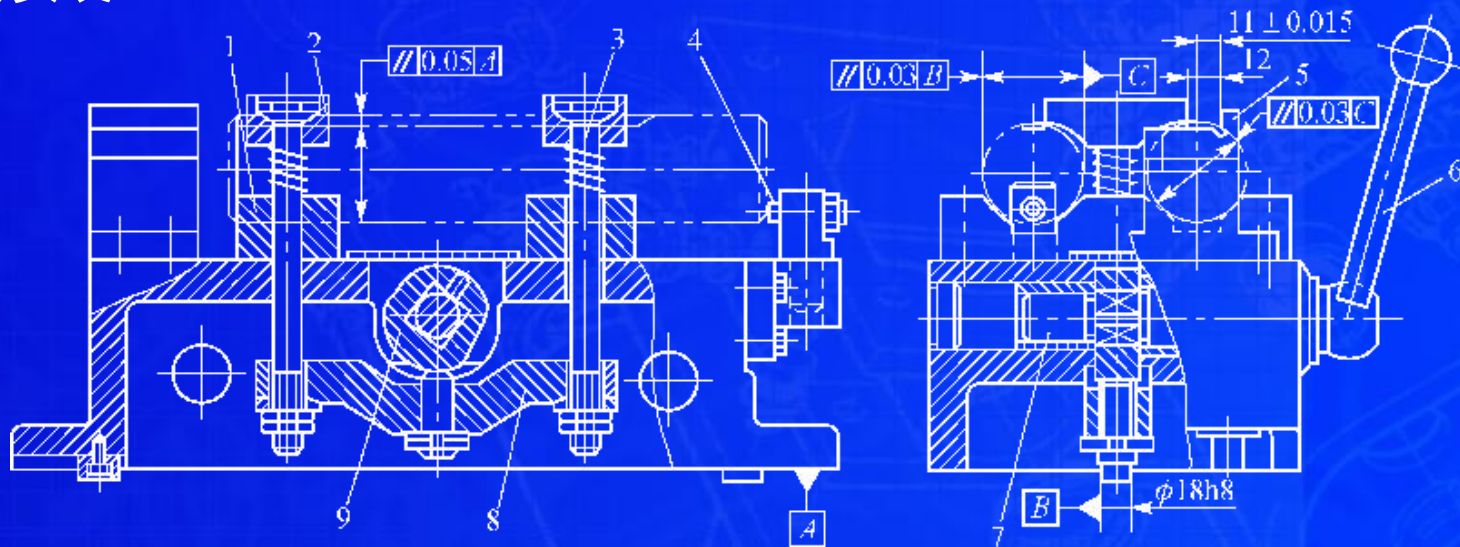


2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.1 工件的安装

3. 专用夹具安装

工件直接安装在专门为其设计和制造的夹具中，无须进行找正，就可快速可靠地保证工件对机床和刀具的正确相对位置，称为专用夹具安装。



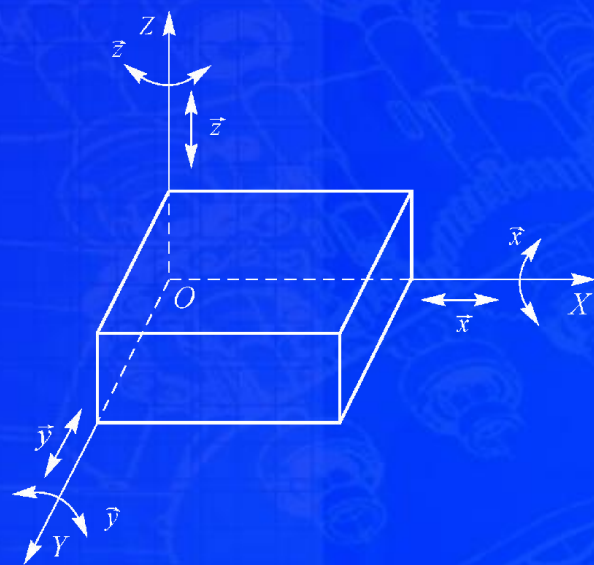
尾座套筒铣键槽夹具

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.2 工件的定位

1. 工件定位的基本原理

确定物体的位置所需要的独立坐标数称为物体的自由度。当物体受到某些限制时自由度减少。工件在空间具有6个自由度，即沿 X 、 Y 、 Z 这3个坐标轴方向移动的自由度 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} 和绕 X 、 Y 、 Z 这3个坐标轴转动的自由度 $\vec{\alpha}$ 、 $\vec{\beta}$ 、 $\vec{\gamma}$ 因此，要准确确定工件的位置，就需要按一定的要求布置6个支承点（即定位元件）来限制工件的6个自由度。其中每个支承点限制一个相应的自由度。这就是工件定位的六点定位原理。



工件在空间的自由度

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.2 工件的定位

2.几种定位情况

1) 完全定位

这种用相当于六个定位支承点的定位元件完全限制工件六个自由度的定位，称为完全定位。

2) 不完全定位

根据具体的加工方法，在满足加工要求的前提下，把限制工件少于六个自由度的定位称为不完全定位。

3) 过定位

几个定位支承点同时限制同一个自由度的定位，称为过定位。

4) 欠定位

定位支承点的数目少于应限制的自由度数目，工件不能正确定位，不能满足加工要求的定位方式，称为欠定位。

2.5 工件的安装、定位与夹紧

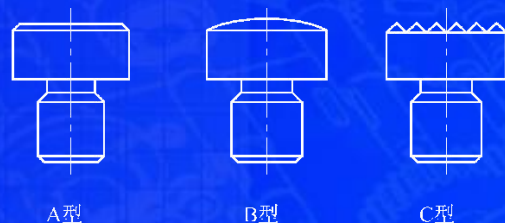
2.5.3 常用的定位元件及选用

1. 工件以平面定位时的定位元件

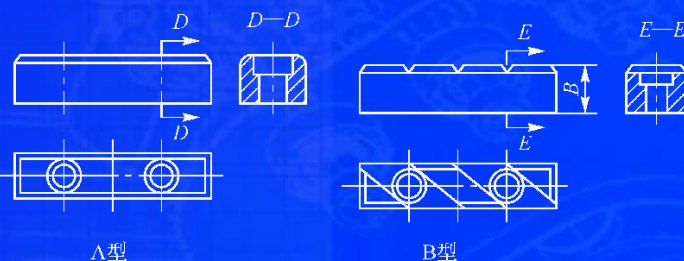
主要支承用来限制工件的自由度，起定位作用。常用的有固定支承、可调支承、自位支承三种。

(1) 固定支承。固定支承有支承钉和支承板两种形式。在使用过程中，它们都是固定不动的。

图中A型为平头支承钉，图中B型为球头支承钉，图中C型为网纹顶面的支承钉。A型支承板适用于顶面和侧面定位，B型支承板适用于底面定位。



(a) 支承钉

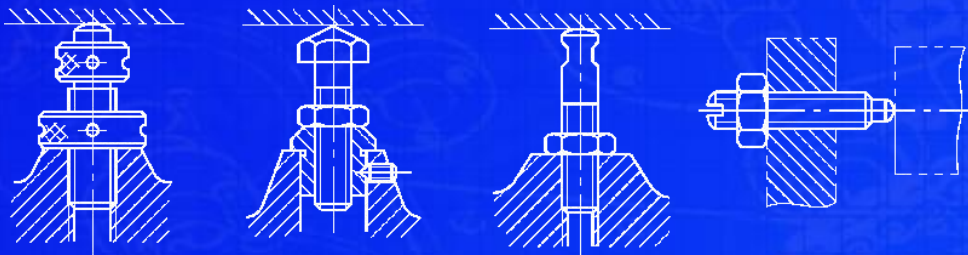


(b) 支承板

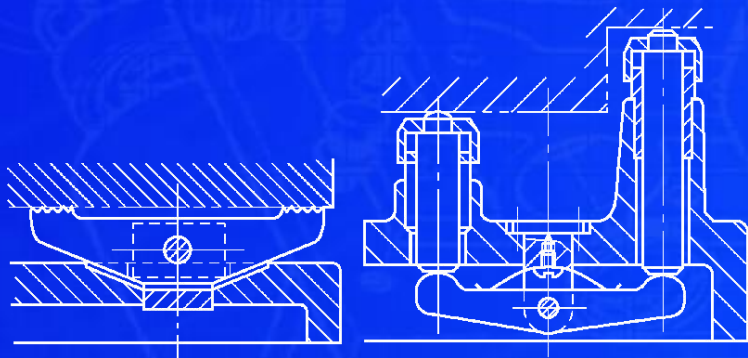
2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.3 常用的定位元件及选用

(2) 可调支承。可调支承是指支承的高度可以进行调节。



(3) 自位支承。在工件定位过程中能自动调整位置的支承称为自位支承。其作用相当于1个固定支承，只限制1个自由度。



2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.3 常用的定位元件及选用

2) 辅助支承

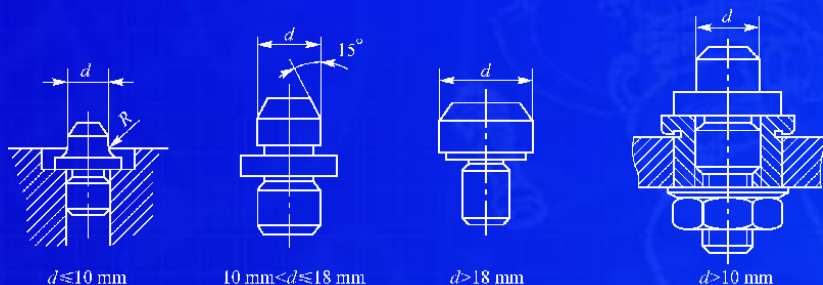
工件因尺寸形状或局部刚度较差，使其定位不稳或受力变形等原因，需增设辅助支承，用以承受工件重力、夹紧力或切削力。辅助支承的工作特点是：待工件定位夹紧后，再调整辅助支承，使其与工件的有关表面接触并锁紧；而且辅助支承是每安装一个工件就调整一次。但此支承不限制工件的自由度，也不允许破坏原有定位。

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.3 常用的定位元件及选用

2. 工件以圆柱孔定位时的定位元件

生产中，工件以圆柱孔定位应用较广，如各类套筒、盘类、杠杆、拨叉等，所采用的定位元件有圆柱销、圆锥销和各种心轴。



(a)固定式

(b)可换式

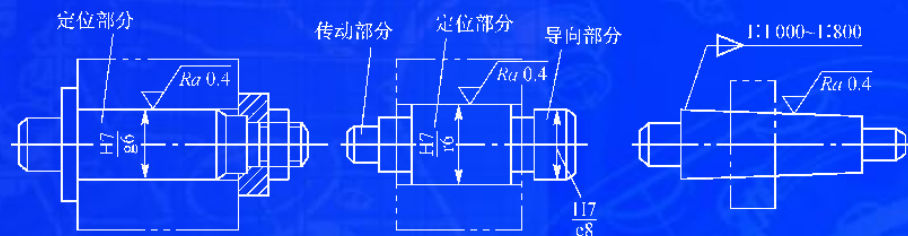
圆柱销



(a)粗基准用

(b)精基准用

圆锥销



(a) 间隙配合心轴

(b) 过盈配合心轴

(c) 小锥度心轴

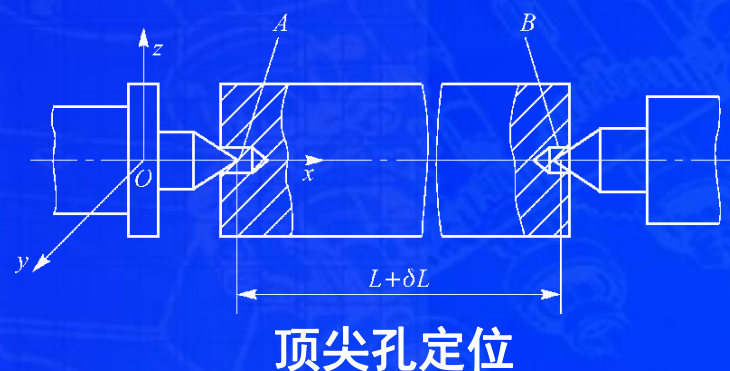
常用刚度心轴

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.3 常用的定位元件及选用

3. 工件以圆锥孔定位时的定位元件

工件以圆锥孔定位时，可以采用锥形心轴作为定位元件；当工件采用顶尖孔锥面定位时，可以采用顶尖来作为定位元件。



4. 工件以外圆定位时的定位元件

工件以外圆定位时，常用的定位元件有V形块、定位套、半圆孔和锥套等。

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.4 工件的夹紧

加工过程中，为保证工件停在定位时确定的位置，防止工件在切削力、离心力、惯性力、重力等作用下产生位移和振动，须将工件夹紧。这种保证加工精度和安全生产的装置称为夹紧装置。

1.对夹紧装置的基本要求

- (1) 夹紧过程中，不改变工件定位后所占据的正确位置。
- (2) 夹紧力的大小适当。既要保证工件在加工过程中其位置稳定不变，振动小，又要使工件不产生过大的夹紧变形。
- (3) 操作方便、省力、安全。
- (4) 夹紧装置的自动化程度及复杂程度应与工件的产量和批量相适应。

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.4 工件的夹紧

2. 夹紧力方向和作用点的选择

- (1) 夹紧力应朝向主要定位基准。
- (2) 如需向多个夹紧点施加夹紧力时，应采用一定的装置，使一力多用，且主要的夹紧力应朝向主要的定位基面。
- (3) 夹紧力的方向应有利于减小夹紧力。
- (4) 夹紧力的作用点应选在工件刚性较好的方向和部位。
- (5) 夹紧力作用点应尽量靠近工件加工面。

2.5 工件的安装、定位与夹紧

2.5.4 工件的夹紧

3.典型夹紧机构

1) 斜楔夹紧机构

采用斜楔作为传力元件或夹紧元件的夹紧机构称为斜楔夹紧机构。

2) 螺旋夹紧机构

采用螺旋元件直接夹紧或采用螺旋元件与其他元件组合实现夹紧的机构，称为螺旋夹紧机构。

3) 偏心夹紧机构

用偏心件直接或间接夹紧工件的机构，称为偏心夹紧机构。常用的偏心件有圆偏心轮。

第3章 数控加工方法



返回

3.1

[车削加工](#)

3.4

[数控钻削加工](#)

3.2

[铣削加工](#)

3.5

[数控加工中心](#)

3.3

[数控磨削加工](#)

3.6

[特种加工](#)

3.1 车削加工



返回

3.1.1 车削加工工艺范围及工艺特点

就基本的工作内容而言，车削加工的工艺范围如下：

- (1) 车削外圆和端面、切断、切槽、钻孔、铰孔、镗孔。
- (2) 车削各种螺纹和滚花。
- (3) 车削内外圆锥面。
- (4) 车削各种特殊形面以及盘绕弹簧等。
- (5) 若在车床上配置各种附件和夹具，还可进行磨削、研磨、抛光以及各种特殊零件的外圆、内孔等加工。
- (6) 可实现细长轴、曲轴、蜗杆等特殊零件的加工。

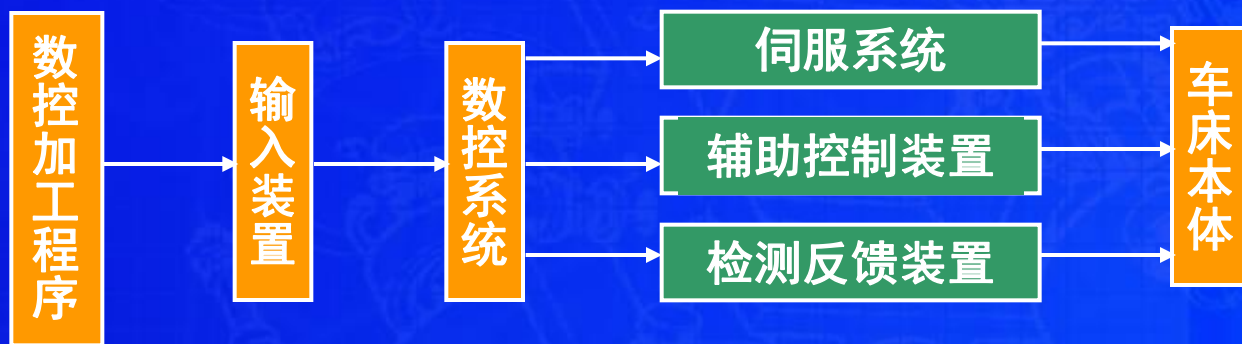
车削加工与其他切削加工相比，有下列特点。

- (1) 适用范围广。
- (2) 容易保证零件各加工表面位置精度。
- (3) 生产率较高。

3.1 车削加工

3.1.2 数控车床的组成

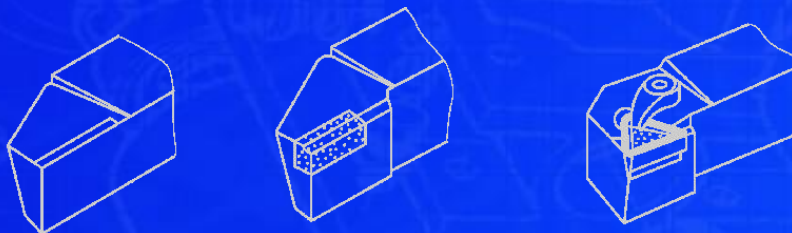
数控车床由数控加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统、辅助控制装置、检测反馈装置及车床本体等组成。



3.1 车削加工

3.1.3 数控车削刀具

车削刀具具有加工外圆、内孔、螺纹、切断和切槽等多种。常用车削刀具具有高速钢整体刃磨刀具、硬质合金焊接式刀具和机夹可转位刀具等。



(a)高速钢整体刃磨刀具

(b)硬质合金焊接式刀具

(c)机夹可转位刀具

3.1 车削加工

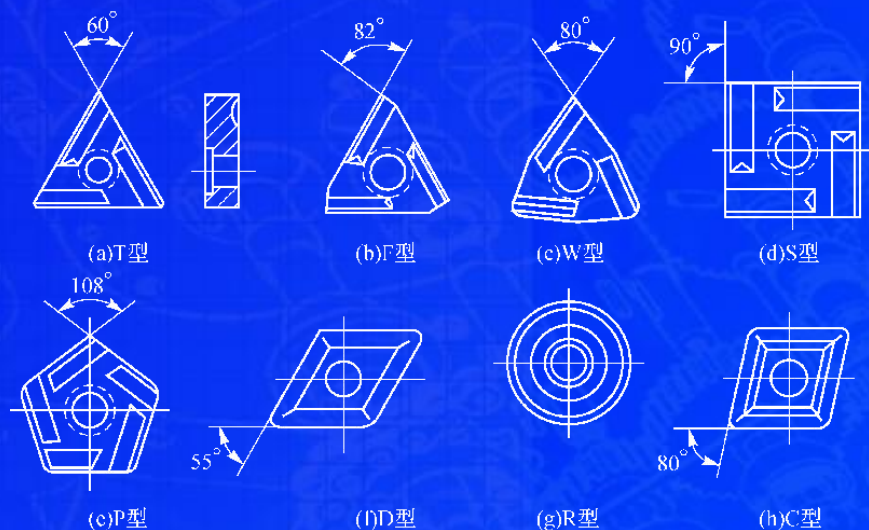
3.1.3 数控车削刀具

1. 机夹可转位刀片

机夹可转位车刀的夹紧结构机夹可转位刀片的具体形状已经标准化，且每一种形状均有一个相应的代码表示。

2. 选择刀具的要领

粗车时，要选用强度高、耐用度好的刀具，以满足粗车时大吃刀量、大进给量的要求。精车时，要选用精度高、耐用度好的刀具，以保证加工精度的要求。此外，为减少换刀时间和方便对刀，应尽可能采用机夹刀和机夹刀片。夹紧刀片的方式要选择得比较合理，刀片最好选择涂层硬质合金刀片。具体选择可参考相关切削用量手册。



3.1 车削加工

3.1.4 切削用量的确定

(1) 背吃刀量 a_p 。背吃刀量又称切削深度，主要根据数控车床、夹具、刀具和工件的刚度来决定。在数控车床上，精加工余量可小于普通车床，一般取0.2~0.5 mm。

(2) 主轴转速 n 。主轴转速主要根据允许的切削速度 v_c 选取。

$$n = \frac{1000v_c}{\pi D}$$

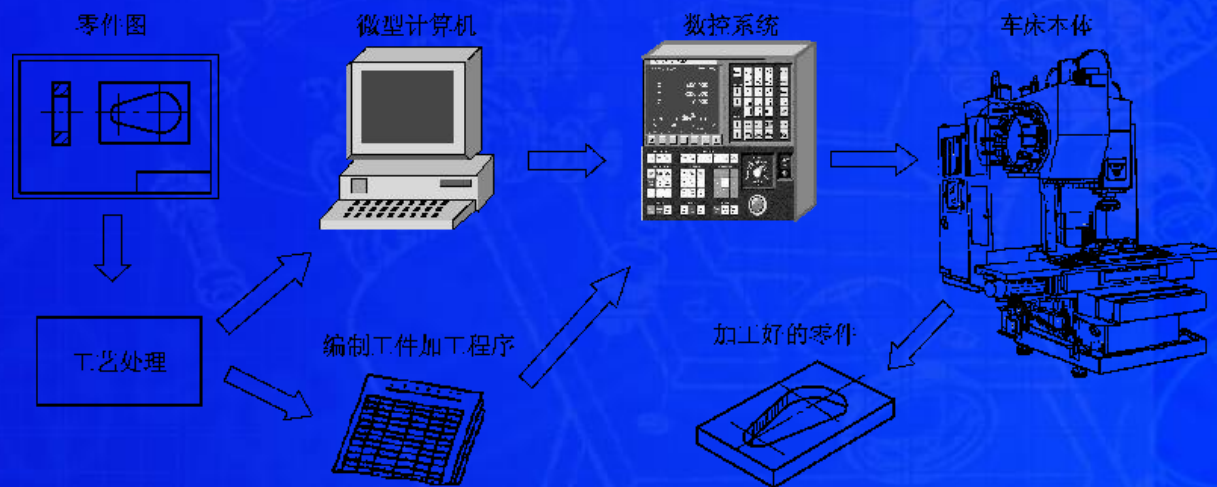
式中， v_c 为切削速度，由刀具的耐用度决定，m/min； D 为工件或刀具直径，mm； n 为主轴转速，r/min。

(3) 进给量 f 。进给量又称为进给速度，单位为mm/min或mm/r，它是数控车床切削用量中的重要参数，主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件材料性质选取。最大进给量则受数控车床刚度和进给系统的性能限制，并与脉冲当量有关。

3.1 车削加工

3.1.5 数控车床加工

采用数控车床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式编成零件加工程序。然后将编好的数控程序输入到车床控制系统中，再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制车床主运动的变速、启动，进给运动的方向、速度和位移大小，以及换刀，工件的夹紧、松开和切削液的开关等动作，自动地加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。



3.1 车削加工



练一练

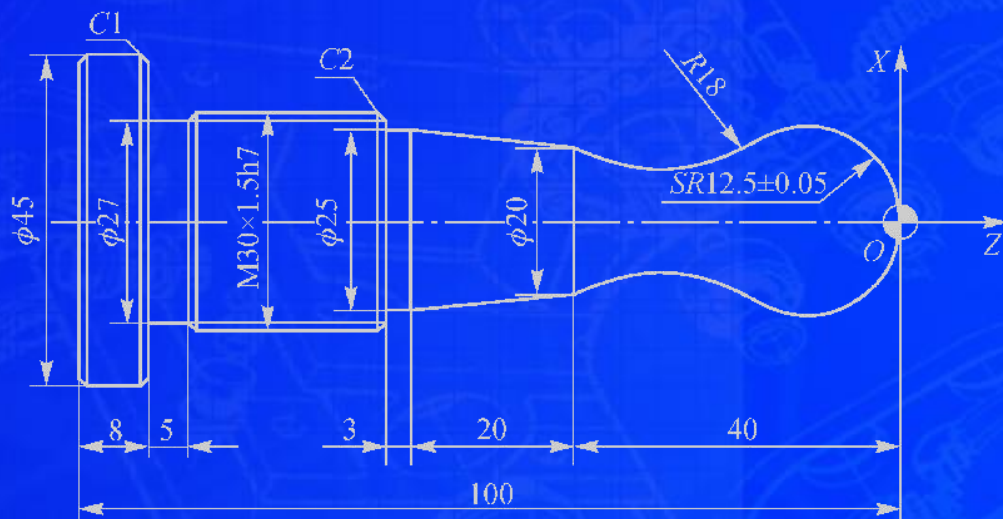
已知：备料尺寸为 $\phi 50 \text{ mm} \times 135 \text{ mm}$ 的棒料，材料为45钢，加工时间为150 min。车削轴类零件。

加工要求：

①看懂给定的中等复杂轴类零件的数控加工工艺文件。

②操作数控车床在参考工时间内完成工件的加工和质量检验工作。

③学会制订中等复杂轴类零件的数控加工工艺文件，并完成加工与检验。



3.1 车削加工

3.1.6 安全文明生产

车工必须严格遵守安全操作规程，一般要求做到：

- (1) 开机前检查操纵手柄、开关、旋钮是否在正确的位置，操纵是否灵活，安全装置是否齐全、可靠。
- (2) 接通电源前，应注意电源电压，超出规定电压范围不允许合上开关。空车低速运转3 min，观察运转状况是否正常，如有异常应停机检查。
- (3) 观察油标指示，检查油量是否合适，油路是否畅通，在规定部位加足润滑油、冷却液。
- (4) 确认润滑、电气、机械各部位运转正常后方可开始工作。
- (5) 严禁超性能使用。
- (6) 禁止在机床的导轨表面、油漆表面放置物品。
- (7) 严禁在导轨面上敲打、校直和修整工件。



3.2 铣削加工

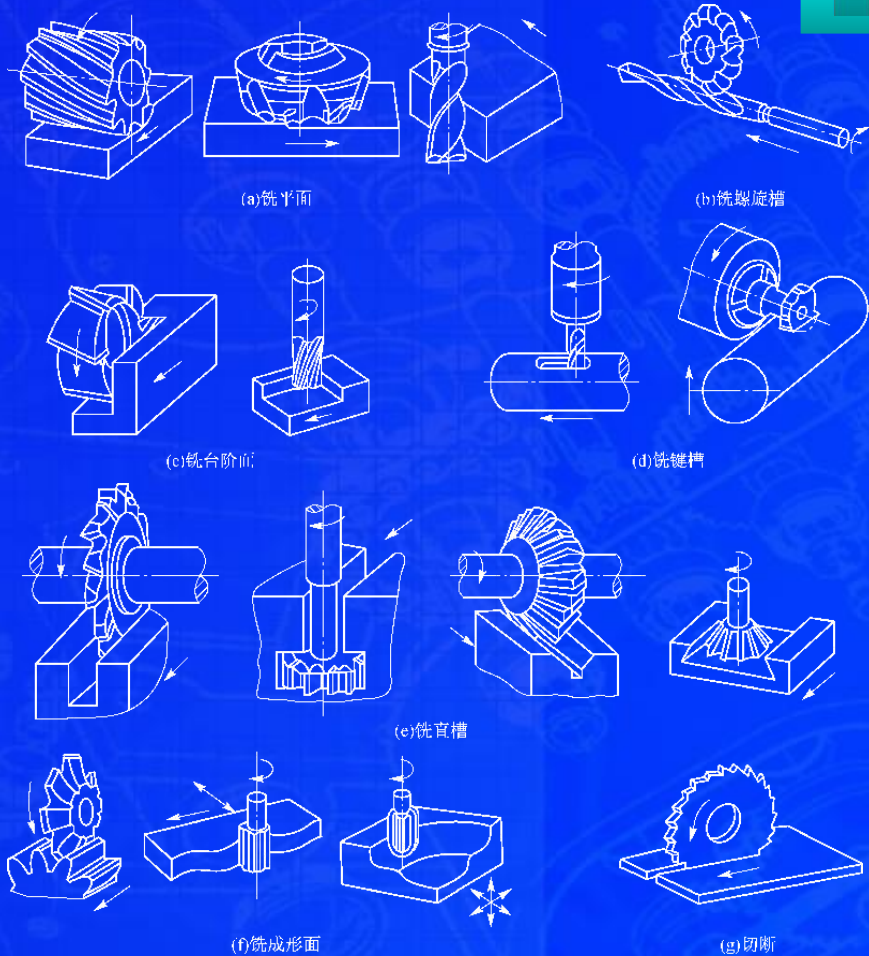
3.2.1 铣削加工工艺范围及工艺特点

1. 铣削加工工艺范围

机械零件一般都是通过各种不同的加工方法将毛坯加工到所需的形状和尺寸的，铣削加工是最常用的切削加工方法之一。

2. 铣削加工工艺特点

用多切削刃的铣刀来进行切削效率较高；加工范围广，可以加工形状较复杂的零件；加工精度也较高，其加工精度一般为IT9~IT7，表面粗糙度值为Ra12.5~1.6 μm。



3.2 铣削加工

3.2.2 数控铣床的组成

数控铣床由数控加工程序、输入装置、数控装置、伺服系统、强电控制柜、铣床本体和辅助装置等几大部分组成。

实际上，数控加工程序并非数控铣床的物理组成部分，但从逻辑上讲，数控铣床加工过程必须按数控加工程序的规定进行，数控加工程序是数控铣床加工的一个重要环节，因此常将数控加工程序视为数控铣床的一个组成部分

3.2 铣削加工

3.2.3 数控铣削刀具

1. 铣刀的类型

1) 面铣刀

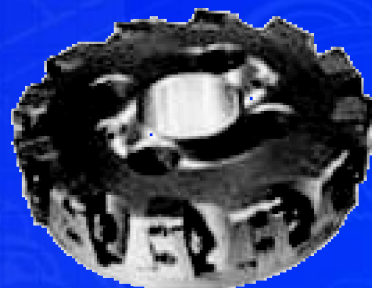
面铣刀主要用于加工较大的平面。面铣刀的圆周表面和端面上都有切削刃，圆周表面上的切削刃为主切削刃，端面切削刃为副切削刃。

2) 立铣刀

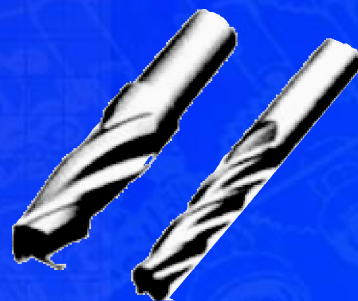
立铣刀是数控加工中用得最多的一种铣刀，主要用于加工凹槽、较小的台阶面以及平面轮廓。立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃，它们既可以同时进行切削，也可以单独进行切削。

3) 模具铣刀

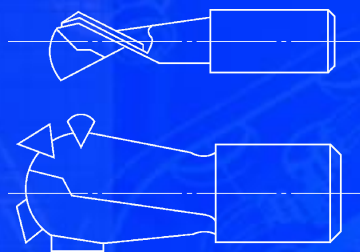
模具铣刀主要用于加工空间曲面、模具型腔或凸模成形表面。模具铣刀由立铣刀发展而来，可分为圆锥形立铣刀、圆柱形球头铣刀和圆锥头铣刀3种。其柄部有直柄、削平型直柄和莫氏锥柄。



面铣刀



立铣刀



模具铣刀

3.2 铣削加工

3.2.3 数控铣削刀具

4) 键槽铣刀

键槽铣刀主要用于加工封闭的键槽。键槽铣刀结构与立铣刀相近，圆柱面和端面都有切削刃，它只有两个刀齿，端面刃延至中心，既像立铣刀，又像钻头。

5) 鼓形铣刀

鼓形铣刀主要用于加工变斜角类零件的变斜角加工面。鼓形铣刀的切削刃分布在半径为 R 的圆弧面上，端面无切削刃。

6) 成形铣刀

成形铣刀一般是为了加工特定的工件或加工内容专门设计制造的，如加工各种直线形或圆弧形的凹槽、斜角面、特殊的孔或台等。除上述的几种类型铣刀外，数控铣床也可以选用各种通用铣刀。

3.2 铣削加工

3.2.3 数控铣削刀具

2. 数控铣削刀具的选用原则

- (1) 铣刀的刚性要好。
- (2) 铣刀的寿命要长。
- (3) 铣刀切削刃的几何角度参数的选择和排屑性能等也非常重要。
- (4) 刀具的选用还要遵循适用、安全、经济的原则。
- (5) 选择刀具时还要考虑安装调整的方便程度，刀具的刚度和寿命以及零件加工精度。

3. 选择刀具的要领

铣刀的种类有很多，选择铣刀时，要使铣刀类型与被加工工件的表面尺寸和形状相适应。在生产中，加工较大平面应选择面铣刀；加工凹槽、较小的台阶面及平面轮廓应选择立铣刀；加工空间曲面、模具型腔或凸模成形表面等多选用模具铣刀；加工封闭的键槽应选择键槽铣刀；对一些立体型面和变斜角轮廓外形的加工，常采用球头铣刀等特形面铣刀。

3.2 铣削加工

3.2.4 切削用量的确定

1) 背吃刀量

背吃刀量 a_p 主要根据铣床、夹具、铣刀和工件的刚度来决定，单位为mm。在刚度允许的情况下，应以最少的进给次数切除加工余量，最好一次切净余量，以便提高生产效率。在数控铣床上，精加工余量可小于普通铣床，一般应取0.2~0.5 mm。

2) 主轴转速

主轴转速主要根据允许的切削速度选取，计算方法同数控车床。

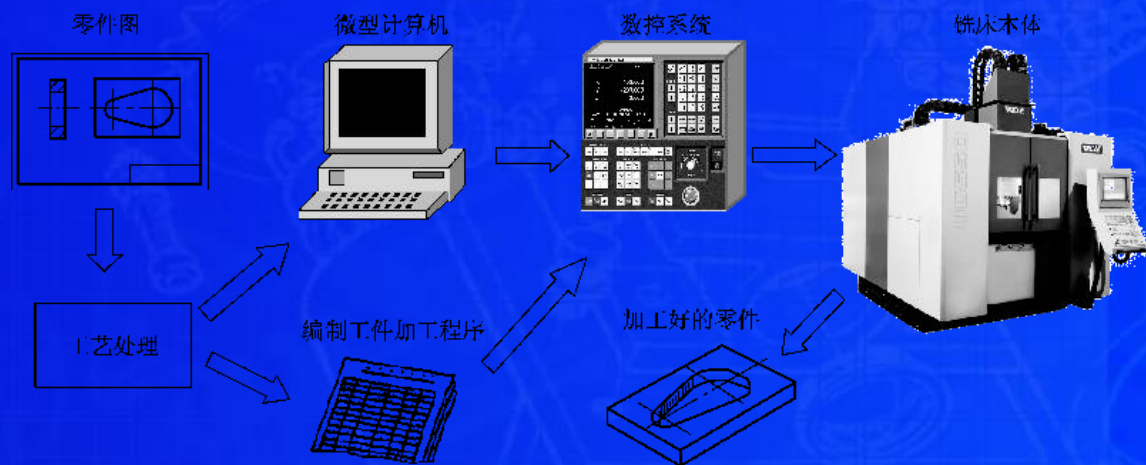
3) 进给量

进给量（进给速度） f 是数控铣床切削用量中的重要参数，主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料性质选取，单位为mm/min或mm/r。最大进给量则受机床刚度和进给系统的性能限制，并与脉冲当量有关。

3.2 铣削加工

3.2.5 数控铣床加工

采用数控铣床加工零件时，则首先根据零件图分析被加工零件形状、尺寸及工艺要求等，然后采用手工或计算机进行零件加工程序的编制，把加工零件所需铣床的各种动作及工艺参数编成数控系统所能接收的程序代码，输入铣床数控系统中，再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制铣床各部件协调动作，自动地加工出零件来。

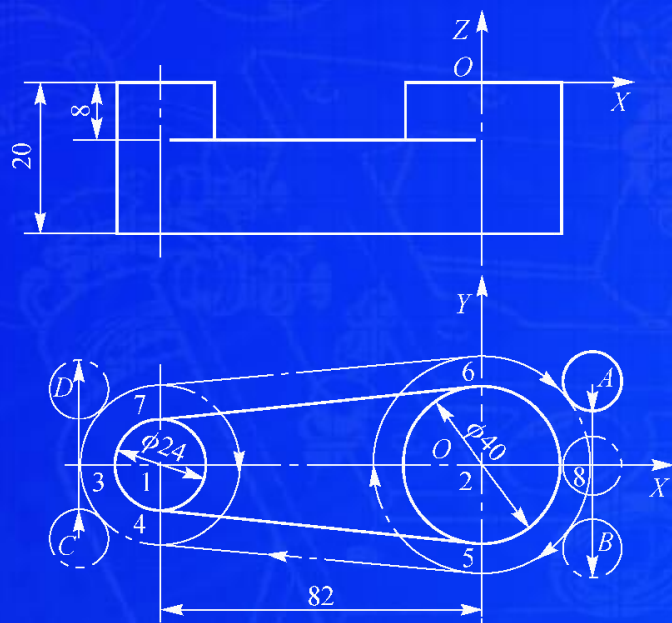


3.2 铣削加工



练一练

要求对连杆的轮廓进行精铣数控加工，试编写程序。



3.2 铣削加工

3.2.6 安全文明生产

1.安全操作注意事项

- (1) 工作时请穿好工作服和安全鞋，戴好工作帽及防护镜，禁止戴手套操作机床。
- (2) 不要移动或损坏安装在机床上的警告标牌。
- (3) 不要在机床周围放置障碍物，保证工作空间足够大。
- (4) 不允许采用压缩空气清洗机床、电气柜及NC单元。

2.工作前的准备工作

- (1) 机床工作前要进行预热，检查润滑系统工作是否正常，如机床长时间未开动，可先采用手动方式向各部分供油润滑。
- (2) 使用的刀具应与机床允许的规格相符，有严重破损的刀具要及时更换。
- (3) 调整刀具所用工具不要遗忘在机床内。
- (4) 刀具安装好后应进行1~2次试切削。
- (5) 检查卡盘夹紧工作的状态。

3.3 数控磨削加工



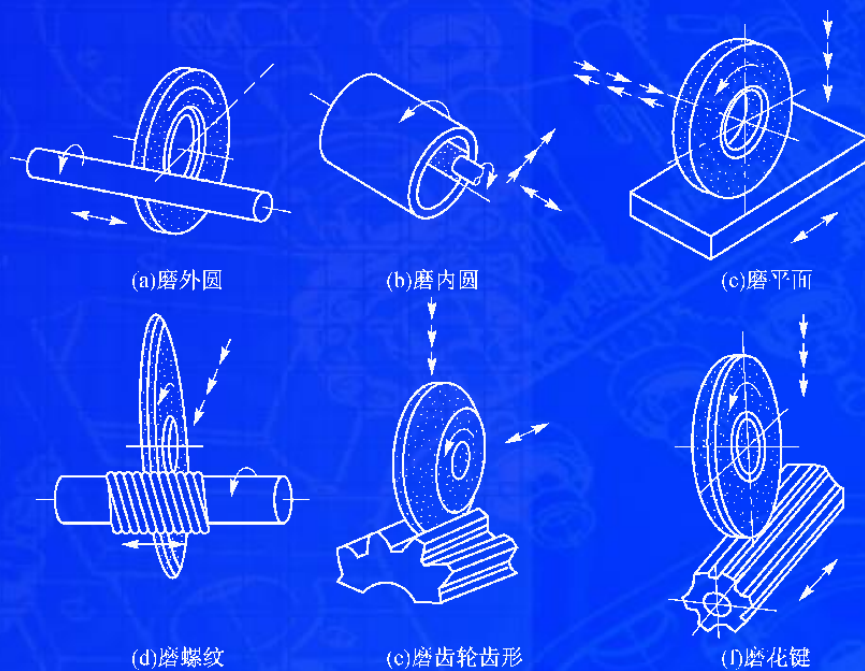
3.3.1 磨削加工工艺范围及工艺特点

1. 磨削加工工艺范围

磨削主要用于零件的内外圆柱面、内外圆锥面、平面及成形表面（如花键、螺纹、齿轮等）的精加工，以获得较高的尺寸精度和较低的表面粗糙度。

2. 磨削加工工艺特点

- (1) 磨削时需使用大量的切削液。
- (2) 磨削能加工一般刀具难以切削的高硬度材料，如淬硬钢、硬质合金、工程陶瓷等，也易于实现自动化。
- (3) 磨削精度高，粗糙度数值小。



3.3 数控磨削加工

3.3.2 数控磨床简介

数控磨床是利用磨具对工件表面进行磨削加工的机床。大多数的磨床是使用高速旋转的砂轮进行磨削加工，少数的是使用油石、砂带等其他磨具和游离磨料进行加工，如珩磨机、超精加工机床、砂带磨床、研磨机和抛光机等。数控磨床又有数控平面磨床、数控无心磨床、数控内外圆磨床、数控立式万能磨床、数控坐标磨床、数控成形磨床等。

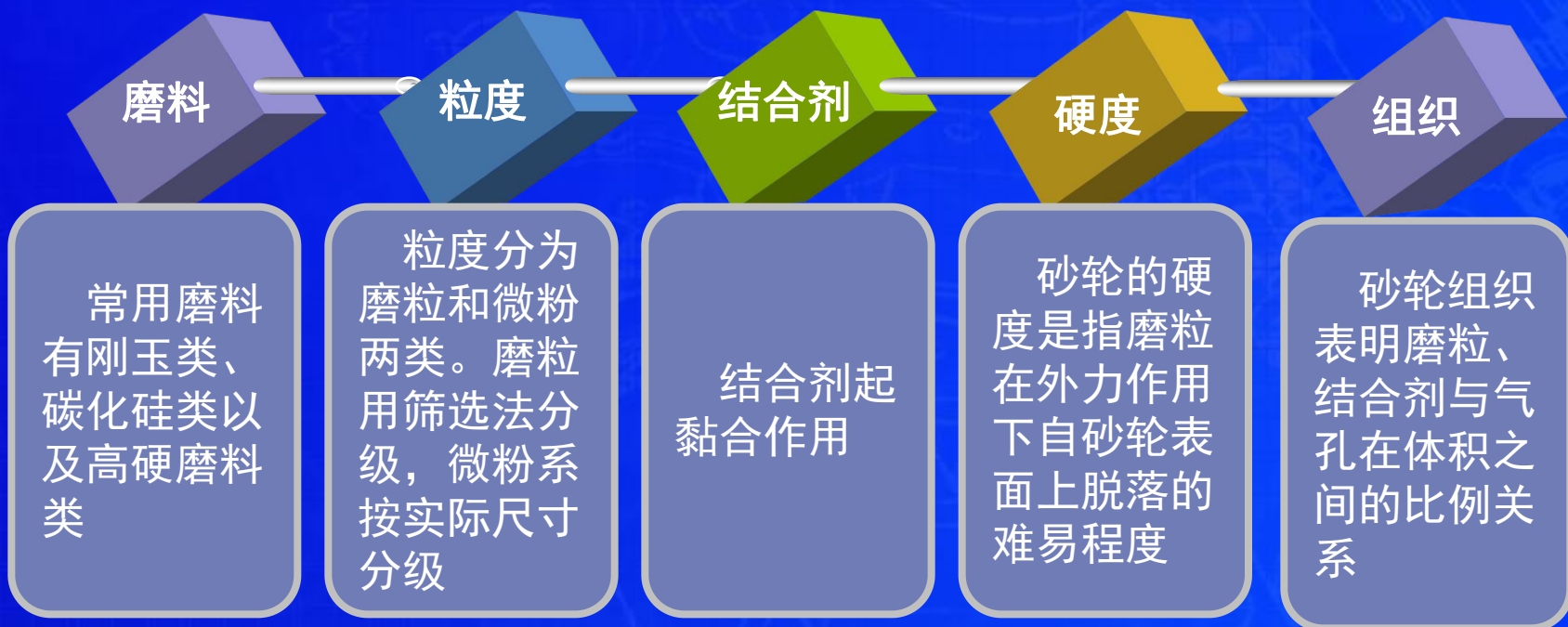


18MK1620/H数控端面外圆磨床

3.3 数控磨削加工

3.3.3 砂轮特性及选择

砂轮是由磨料加结合剂经压坯、干燥和焙烧方法制成的。砂轮的特性由下列五个参数来确定：磨料、粒度、结合剂、硬度及组织。



3.3 数控磨削加工

3.3.4 磨削运动

1. 磨削速度

砂轮回转运动称为主运动。主运动速度（即砂轮外圆的线速度），称磨削速度，用 v_c 表示，其计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d_c n_c}{6 \times 10^4}$$

式中， d_c 为砂轮直径（mm）； n_c 为砂轮转速（r/min）。

2. 工件切线速度

工件切线速度是指工件外圆处的最大线速度。工件切线速度以 v_w 表示，单位为m/min。

3.3 数控磨削加工

3.3.4 磨削运动

3. 径向进给量

砂轮切入工件的运动称为径向进给运动。径向进给量以 f_r 表示，单位为mm/双行程，即工件每双行程，砂轮切入工件的径向移动的距离，也就是磨削深度。一般情况下， $f_r=0.005\sim 0.05$ mm/双行程，粗磨时取上限，精磨时取下限。

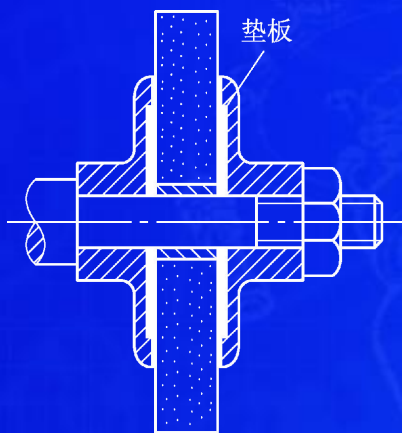
4. 轴向进给量

工件相对于砂轮沿轴向的运动称轴向进给运动。轴向进给量以 f_a 表示，单位为mm/r。增大轴向进给量可提高磨削效率，但加工质量受到影响。粗磨时，一般取 $f_a=(0.5\sim 0.6)B$ ；精磨时，取 $f_a=(0.2\sim 0.3)B$ ，其中 B 为砂轮宽度。

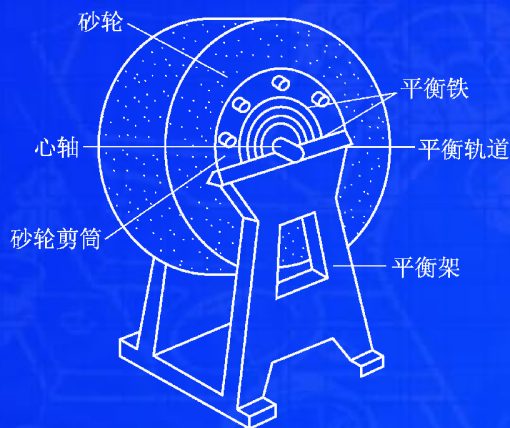
3.3 数控磨削加工

3.3.5 砂轮的检查、安装、平衡和修整

由于砂轮在高速旋转下工作，安装前必须经过外观检查，不允许有裂纹。安装砂轮时，要求将砂轮不松不紧地套在轴上，在砂轮和法兰盘之间垫上1~2 mm厚的弹性垫板（由皮革或橡胶制成）。为使砂轮平稳地工作，砂轮必须进行静平衡。



砂轮的安装



砂轮的静平衡

3.3 数控磨削加工

3.3.6 安全文明生产

在磨削加工时必须严格遵守安全操作规程，一般要求做到：

- (1) 开机前，检查磨床各部位是否正常，并对有关部位注油润滑。
- (2) 正确安装和紧固砂轮，新砂轮安装前要进行检查，用响声检查法检查砂轮是否有裂纹，校核砂轮的圆周速度不超过安全圆周速度。
- (3) 工作前要按规定穿好工作服。
- (4) 各种砂轮都必须有砂轮防护罩，不得在没有防护罩的情况下进行磨削。磨削前，砂轮应经过2~3 min的空转试验。
- (5) 磨削前，检查工件是否安装正确、牢靠，平面磨床磨削高而狭窄的工件时，工件前后要放挡铁块，磁性工作台的吸力要充分可靠；调整好换向块的位置并将其紧固。

3.3 数控磨削加工

3.3.6 安全文明生产

(6) 每个工件加工结束后，应将砂轮进给手轮退出一些，以免装夹好下一个工件再开机时，砂轮碰撞工件而发生危险。

(7) 注意安全用电，不随便打开电器控制箱和乱动电器设备，工作时发生电器故障应请电工进行检查修理。

(8) 操作过程中，对导轨、丝杠等关键部位要严防杂物入内，注意砂轮主轴轴承的温度，合理选择磨削用量，切削量过大，易使砂轮破碎而发生危险。

(9) 工作完毕，必须清除磨床上的磨屑和冷却液，仔细擦洗干净，做好日常保养工作，但不允许在开机或带电状态下进行以上工作。

(10) 做好加工件的清洁防锈工作，整理工、量具，清理周边场地卫生。

3.4 数控钻削加工



返回

3.4.1 钻削加工工艺及其特点

用钻头在实体材料上一次钻成孔的工序叫钻孔。钻孔直径通常为0.5~125 mm，钻孔深度的范围大，是机械制造中广泛采用的加工方法之一。

扩孔是用扩孔钻或麻花钻对已加工出的孔进行扩大加工的一种方法。扩孔常作为孔的半精加工和铰孔前的预加工。

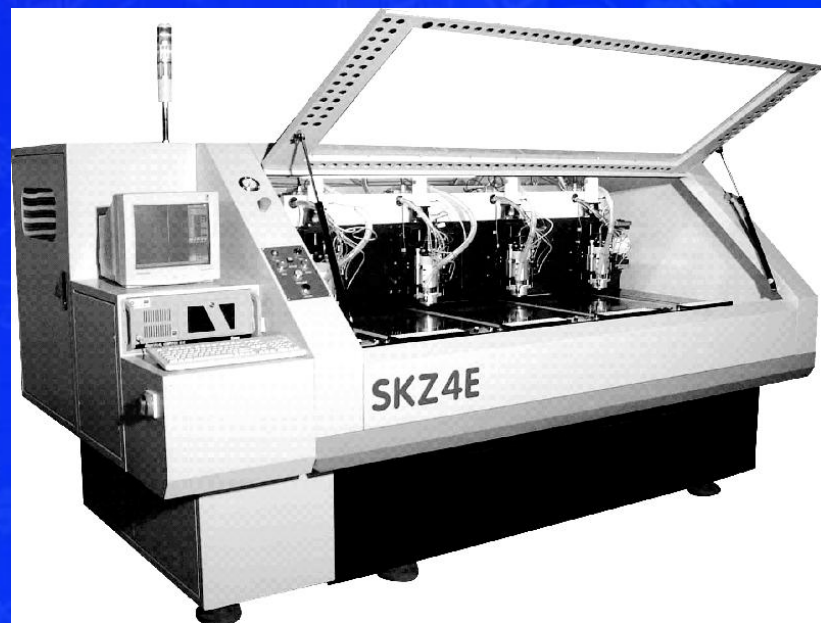
铰孔是对孔口部分的加工。例如倒角用来容纳圆柱头或圆锥头螺钉的埋头孔以及孔口的端面等。

用铰刀从工件孔壁上切除微量金属层，以提高孔的尺寸精度和降低表面粗糙度的方法称为铰孔。

3.4 数控钻削加工

3.4.2 数控钻床简介

数控钻床主要用于钻孔、扩孔、铰孔、攻丝等加工。在汽车、机车、造船、航空航天和工程机械行业应用广泛；尤其广泛应用于超长型叠板，纵梁、结构钢、管型件等各类大型零件的钻削加工中。



SKZ4E数控钻床

3.4 数控钻削加工

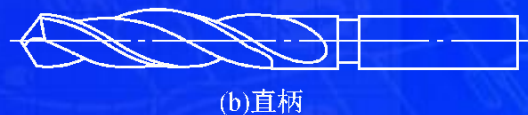
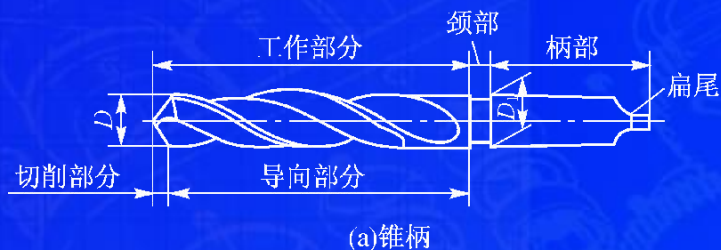
3.4.3 数控钻削刀具

1. 麻花钻

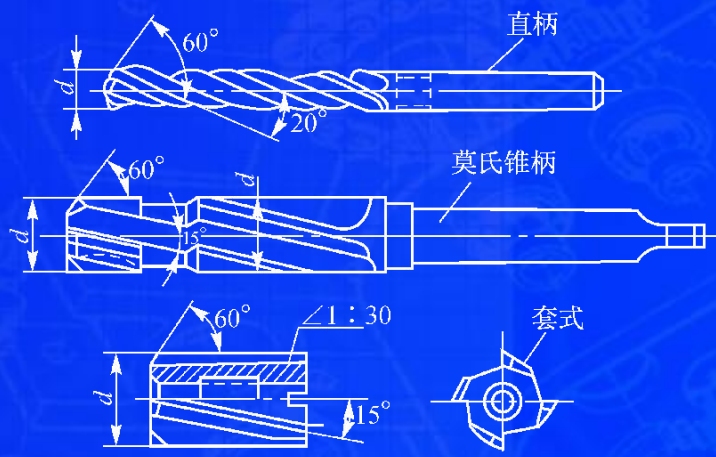
麻花钻由柄部、颈部和工作部分组成。麻花钻的切削角度包括前角、后角、顶角和横刃斜角。

2. 扩孔钻

扩孔钻按刀体结构可分为整体式和镶片式两种，按装夹方式可分为直柄、锥柄和套式三种。



麻花钻



扩孔钻

3.4 数控钻削加工

3.4.3 数控钻削刀具

3. 铰钻

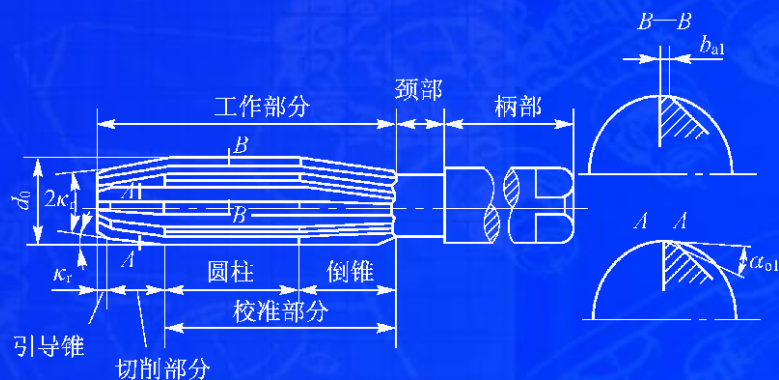
铰孔用的工具称为铰钻。铰钻又分为柱形铰钻、锥形铰钻和端面铰钻三种。

4. 铰刀

铰刀由工作部分、颈部和柄部三个部分组成。



铰钻



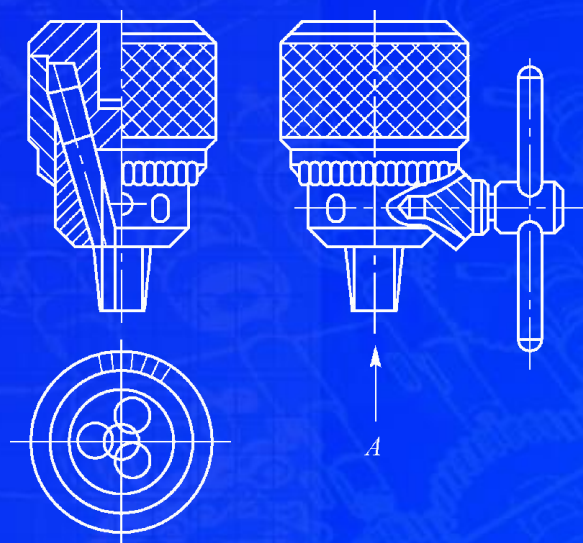
铰刀

3.4 数控钻削加工

3.4.4 常用钻床附件

1. 钻夹头

钻夹头用来装夹圆柱柄钻头。在夹头的3个斜孔内部装有带螺纹的卡爪，它与环形螺母相啮合。旋转外套时螺母随同旋转，从而使三爪张开或合拢。



钻夹头

2. 钻套与楔铁

钻套用来装夹锥柄钻头，楔铁用来从钻套中卸下钻头。

3. 快换夹头

在钻床上加工孔时，往往需要不同的刀具经过几次更换和装夹才能完成。在这种情况下采用快换夹头，能在主轴旋转的时候更换刀具，装卸迅速，减少更换刀具的时间。



钻套与楔铁

3.4 数控钻削加工

3.4.5 安全文明生产

- (1) 遵守钻床工一般安全操作规程。
- (2) 按规定穿戴好劳动防护用品，工作中严禁戴手套操作。
- (3) 工作前检查操纵手柄、开关、旋钮是否在正确的位置，操纵是否灵活，安全装置是否齐全、可靠，确认无误后方可操作。
- (4) 当班首次使用机床（指一班制）或长时间未使用时，应先使机床从低速到高速空旋转4~6 min，确认各部分正常后方可开始工作。
- (5) 按加工工艺要求，认真编制并输入数控加工程序。
- (6) 禁止在机床的导轨表面、油漆表面放置金属物品，或在导轨面上敲打校直和修整工件。
- (7) 装卸钻头时，应停止主轴转动，并将主轴锥孔、锥套表面擦净。装夹时，锥面接触应牢固。卸下时，应使用标准斜铁，用铜锤轻轻敲打，严禁用其他物件乱敲。

3.4 数控钻削加工

3.4.5 安全文明生产

(8) 工件、工装要正确固定，严禁用手扶持工件钻孔。采用自动进给，当孔接近钻通时，应用手动慢进给，以避免损坏工件及钻头。

(9) 根据工件材质、钻削深度，合理选用切削用量。在钻孔时必须经常抬起钻头，以清除切削。

(10) 在钻孔工作或用按钮操纵正、反转时，应先将开关扳至钻孔位置。当利用攻丝反转机构进行攻丝时，应将开关扳至攻螺纹位置。

(11) 机床运转过程中，操作者不得离开工作岗位或托人看管。

(12) 经常注意设备各部位的运转情况，如有异常现象，应立即停机，查明原因，及时处理。

(13) 钻头上绕有长铁屑时，要停车清理。禁止用风吹、用手拉，要用刷子或铁钩清除。

(14) 工作后必须将各操作手柄置于停机位置，钻轴恢复原位，程序控制箱锁好，切断机床电源。

3.5 数控加工中心

返回

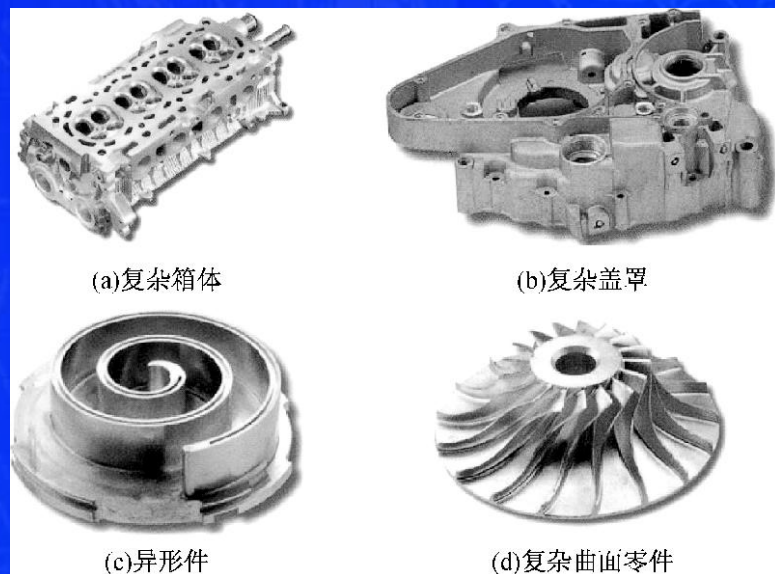
3.5.1 数控加工中心的工艺特点和加工对象

1. 数控加工中心的工艺特点

- 1) 工艺范围广，适于加工形状复杂的零件
- 2) 具有高度柔性，便于研制、开发新产品
- 3) 加工精度高，表面质量好，生产效率高
- 4) 减轻工人体力劳动强度
- 5) 便于实现计算机辅助制造
- 6) 其他特点

2. 数控加工中心的主要加工对象

加工中心的主要加工对象有箱体类零件、复杂曲面、异形件、盘板类零件和特殊加工零件等。

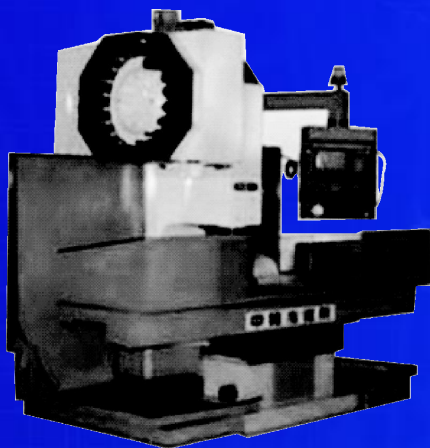


加工中心常见的加工零件

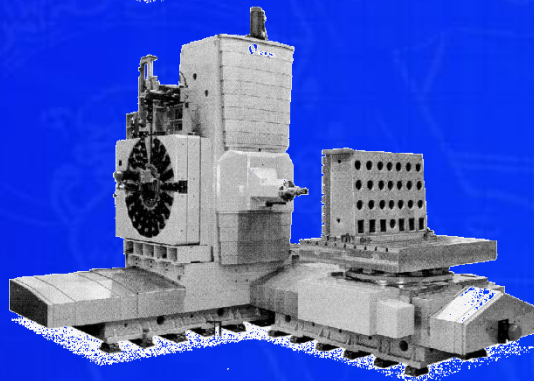
3.5 数控加工中心

3.5.2 数控加工中心介绍

按结构分，数控中心分为立式加工中心、卧式加工中心和龙门式加工中心。立式加工中心适用于加工箱盖、缸盖、平面凸轮等零部件，卧式加工中心主要适用于加工箱体类零件，龙门式加工中心适用于加工大型箱体、板类零件。



立式加工中心



卧式加工中心



龙门式加工中心

3.5 数控加工中心

3.5.3 数控加工中心的刀具

1. 数控加工中心对刀具的基本要求

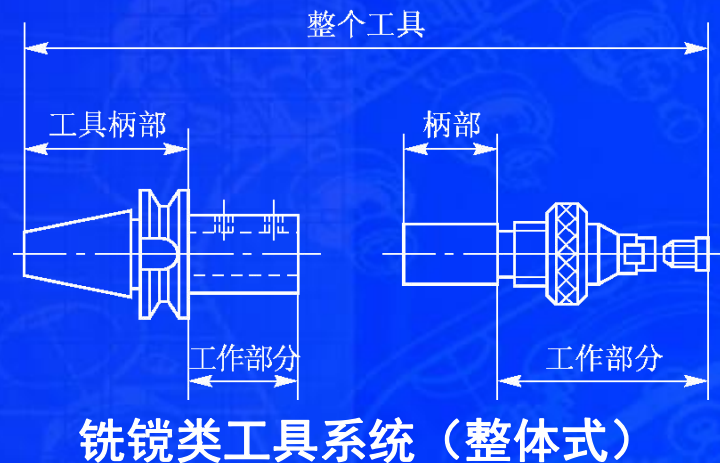
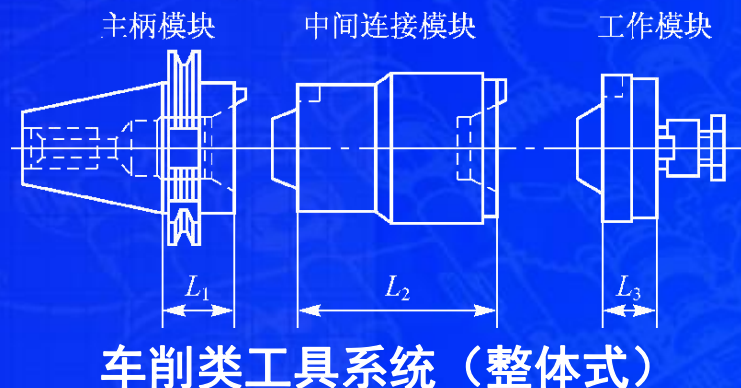
- (1) 高刚度、高强度。
- (2) 高耐用度。
- (3) 刀具精度。

2. 数控加工中心常用刀具的种类

数控加工中心主要刀具的种类按工艺用途可分为铣削类、镗削类和钻削类等几大类。

3. 数控加工中心工具系统

模块式工具系统由于其定位精度高，装卸方便，连接刚性好，具有良好的抗振性，是目前用得较多的一种型式。它由刀柄、中间接杆以及工作头组成。数控加工中心刀具的刀柄分为整体式工具系统和模块式工具系统两大类。



3.5 数控加工中心

3.5.3 数控加工中心的刀具

4. 刀具的选用

在应用中，要根据加工中心机床的要求、夹具的要求、工件材料的性能、加工工序、切削用量以及其他相关因素正确选用刀具。刀具选择总的原则是刀具的安装和调整方便，刚性好，耐用度和精度高。

5. 刀柄的选用

选择刀柄需注意以下问题：

(1) 标准刀柄与机床主轴连接的结合面是7: 24锥面，选择刀柄前必须了解该机床主轴的规格，机械手夹持尺寸及刀柄拉钉的尺寸。

(2) 在TSG工具系统中有相当部分产品是不带刀具的，这些刀柄相当于过渡的连接杆，它们必须再配置相应的刀具和附件，由用户根据典型工件工艺所需的工序及其工艺卡片填制所需工件卡片。

(3) 选用模块式刀柄和复合刀柄要综合考虑，模块式刀柄必须按一个小的工件系统来考虑。

(4) 选用刀具预调仪。

3.6 特种加工

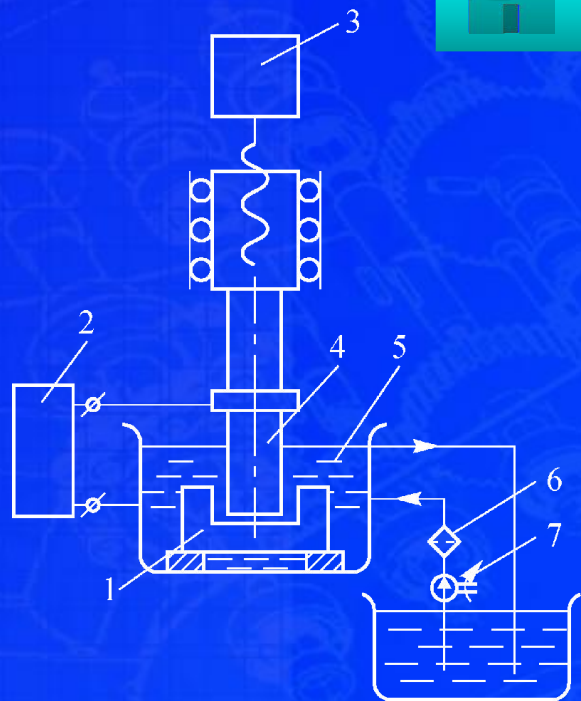


3.6.1 电火花加工

1.电火花加工原理及必备条件

1) 电火花的加工原理

工件1与工具4分别与脉冲电源2的两个不同极性输出端相连接，自动进给调节装置3使工件和电极间保持相当的放电间隙。两电极间加上脉冲电压后，在间隙最小处或绝缘强度最低处将工作液介质击穿，形成放电火花。放电通道中等离子瞬时高温使工件和电极表面都被蚀除掉一小部分材料，使各自形成一个微小的放电坑。从微观上看，加工表面是由很多个脉冲放电小坑组成。



电火花加工原理图

- 1—工件； 2—脉冲电源； 3—自动进给调节装置； 4—工具； 5—工作液； 6—过滤器； 7—工作液泵

3.6 特种加工

3.6.1 电火花加工

2) 电火花加工的必备条件

(1) 在脉冲放电点必须有足够大的能量密度，能使金属局部熔化和气化，并在放电爆炸力的作用下，把熔化的金属抛出来。为了使能量集中，放电过程通常在液体介质中进行。

(2) 工具电极和工件被加工表面之间要经常保持一定的放电间隙。

(3) 放电形式应该是脉冲的，放电时间要短，一般为 $10^{-7} \sim 10^{-3}$ s。

(4) 必须把加工过程中所产生的电蚀产物（包括加工焦、焦油、气体之类的介质分解产物）和余热及时地从加工间隙中排除出去，保证加工能正常地持续进行。

(5) 在相邻两次脉冲放电的间隔时间内，电极间的介质必须能及时消除电离，避免在同一点上持续放电而形成集中的稳定电弧。

3.6 特种加工

3.6.1 电火花加工

2.电火花加工的特点和应用范围

优 点

- ☆适于用传统机械加工方法难以加工的材料
- ☆可加工特殊及复杂形状的零件
- ☆可实现加工过程自动化
- ☆可以改进结构设计,改善结构的工艺性
- ☆可以改变零件的工艺路线

局 限 性

- ☆用于金属材料的加工
- ☆加工效率比较低
- ☆加工精度受限制
- ☆加工表面有变质层甚至微裂纹
- ☆改变零件的工艺路线
- ☆最小角部半径的限制
- ☆外部加工条件的限制
- ☆加工表面的“光泽”

问

题

应用范围

- ☆高硬度零件加工
- ☆型腔尖角部位加工
- ☆模具上的筋加工
- ☆深腔部位的加工
- ☆小孔加工
- ☆表面处理

3.6 特种加工

3.6.2 数控电火花切割

1. 数控电火花线切割加工原理

数控电火花线切割简称线切割，是利用细金属线（常用的有钼、黄铜、紫铜等）作为负极，工件作为正极，在线电极和工件之间加以高频的脉冲电压，并置于乳化液或者去离子水等工作液中，使其不断产生火花放电，工件不断被电蚀，从而达到对工件进行加工的目的。

2. 数控电火花线切割加工的特点

(1) 加工范围宽，只要被加工工件是导体或半导体材料，无论其硬度如何，均可进行加工。

(2) 能方便调节加工件之间的间隙，如依靠线径自动偏移补偿功能，使冲模加工的凸凹模间隙得以保证。

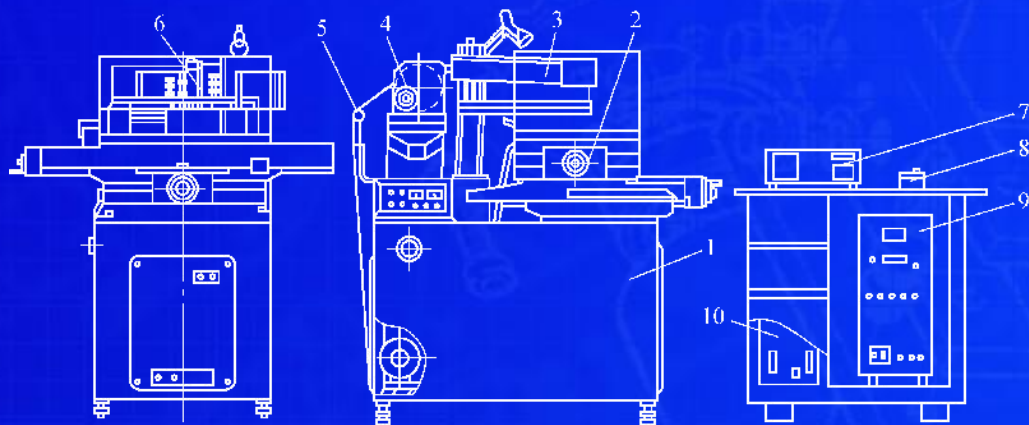
(3) 采用四轴联动可加工上、下面异形体、扭曲曲面体、变锥度体等工件。

3.6 特种加工

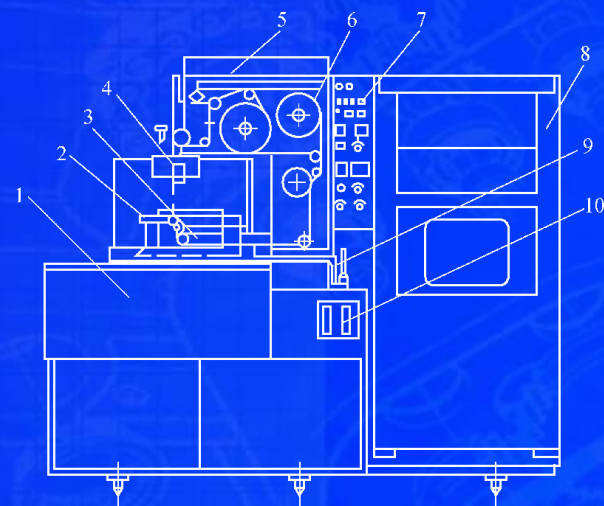
3.6.2 数控电火花切割

3. 数控电火花线切割机床的组成及分类

数控电火花线切割机床主要由机械装置（包括床身、移动工作台、运丝系统等）、脉冲电源、数控装置、工作液供给装置等组成。根据电极丝运动的方式可将数控电火花线切割机床分为两大类，即快走丝线切割机床和慢走丝线切割机床。



快走丝线切割机床的结构简图



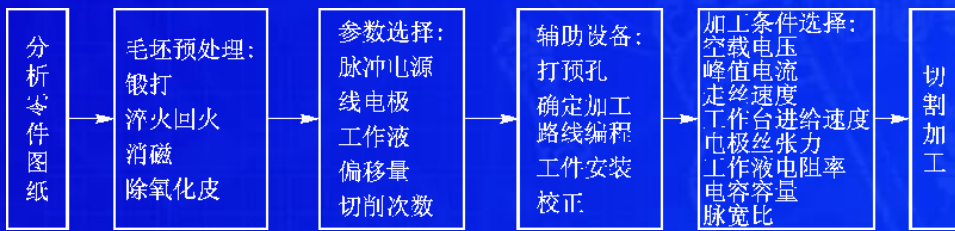
慢走丝线切割机床的结构简图

3.6 特种加工

3.6.2 数控电火花切割

4. 数控电火花线切割机床的加工过程

线切割加工通常是工件整个加工中的最后一道工序，所以加工质量尤为重要。



线切割机床的一般加工过程

5. 数控电火花线切割加工操作流程



慢走丝线切割机床的结构简图

3.6 特种加工

3.6.3 电解加工

1. 电解加工的原理及特点

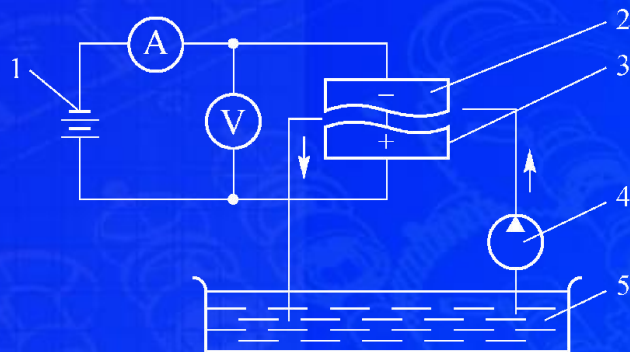
1) 基本原理

在工件（阳极）与工具（阴极）之间接上直流电源，使工具阴极与工件阳极间保持较小的加工间隙（0.1~0.8 mm），间隙中通过高速流动的电解液。这时，工件阳极开始溶解。开始时，两极之间

的间隙大小不等，间隙小处电流密度大，阳极金属去除速度快；而间隙大处电流密度小，去除速度慢。随着工件表面金属材料的不溶解，工具阴极不断地向工件进给，溶解的电解产物不断地被电解液冲走，工件表面也就逐渐被加工成接近于工具电极的形状，如此下去直至将工具的形状复制到工件上。

2) 特点

能加工各种硬度和强度的材料；生产率高；表面质量好；阴极工具在理论上不损耗，基本上可长期使用。



慢走丝线切割机床的结构简图

- 1—直流电源； 2—工具电极；
- 3—工件阳极； 4—电解液泵；
- 5—电解液

3.6 特种加工

3.6.3 电解加工

2. 电解加工设备

电解加工的基本设备包括直流电源、机床及电解液系统三大部分。

1) 直流电源

电解加工常用的直流电源为硅整流电源和晶闸管整流电源。

2) 机床

电解加工机床的任务是安装夹具、工件和阴极工具，并实现其相对运动，传送电和电解液。要求机床要有足够的刚性，要保证进给系统的稳定性，要有好的防腐措施和安全措施。

3) 电解液系统

电解液可分为中性盐溶液、酸性盐溶液和碱性盐溶液三大类。其中中性盐溶液的腐蚀性较小，使用时较为安全，故应用最广。

3. 电解加工应用

电解加工主要应用在深孔加工、叶片（型面）加工、锻模（型腔）加工、管件内孔抛光、各种型孔的倒圆和去毛刺、整体叶轮的加工等方面。

3.6 特种加工

3.6.4 激光加工

1. 激光加工的原理与特点

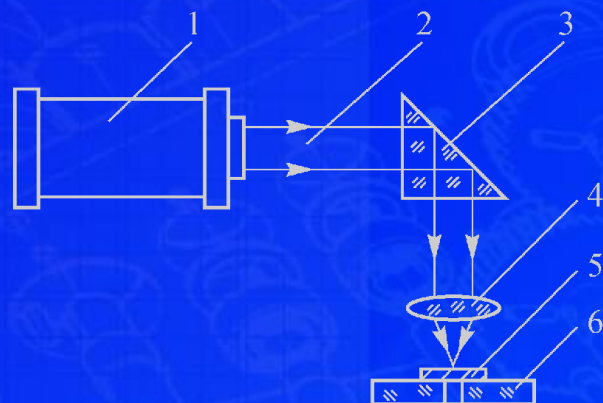
1) 激光加工的原理

工件在光热效应下会产生高温熔融和受冲击波抛出的综合过程。

2) 激光加工的特点

激光加工的特点主要有以下几个方面：

- (1) 几乎对所有的金属和非金属材料都可以进行激光加工。
- (2) 激光能聚焦成极小的光斑，可进行微细和精密加工。
- (3) 可用反射镜将激光束送往远离激光器的隔离室或其他地点加工。
- (4) 加工不需用刀具，属于非接触加工，无机械加工变形。
- (5) 无需工具和特殊环境，便于自动控制连续加工，加工效率高，加工变形和热变形小。



激光加工示意图

- 1—激光器； 2—激光束； 3—全反射棱镜； 4—聚焦物镜； 5—工件； 6—工作台

3.6 特种加工

3.6.4 激光加工

2. 激光加工基本设备及其组成部分

1) 激光器

激光器是激光加工的重要设备，它的任务是把电能转变成光能，产生所需要的激光束。

2) 导光聚焦系统

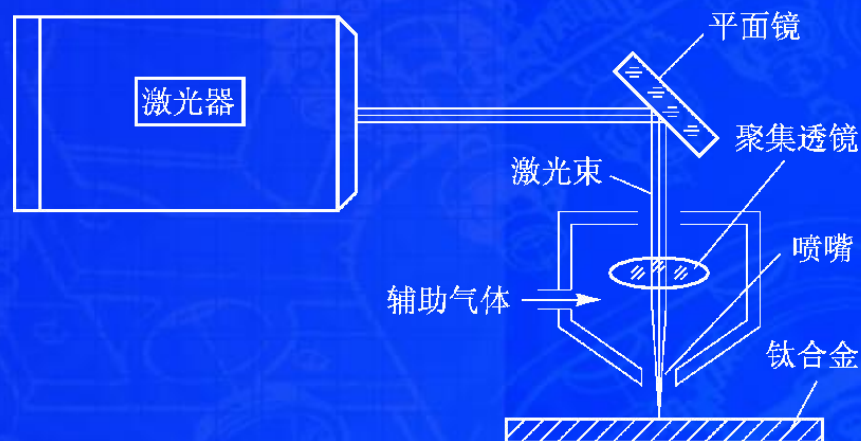
从激光器输出窗口到被加工工件之间的装置称为导光聚焦系统。

3) 激光加工系统

激光加工系统主要包括床身、能够在三维坐标范围内移动的工作台及机电控制系统等。

3. 激光加工的应用

目前，激光加工常应用于打孔、切割、打标、焊接和表面处理等。例如，二氧化碳气体激光器可用来切割钛合金示意图。



二氧化碳气体激光器切割钛合金

3.6 特种加工

3.6.5 超声波加工

1. 超声波加工的原理与特点

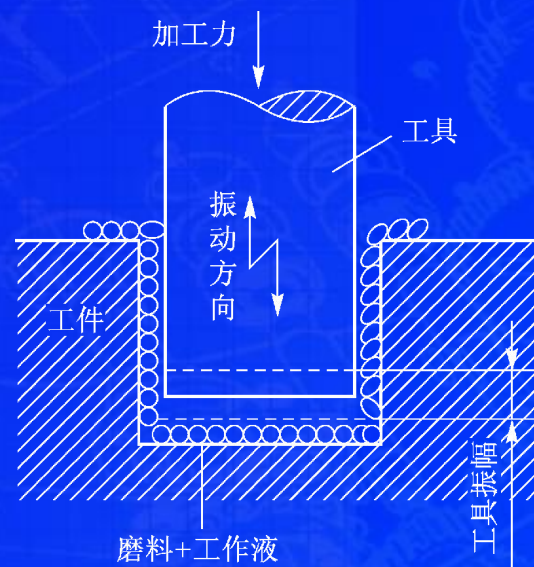
1) 加工原理

超声波加工是利用振动频率超过16 000 Hz的工具头，通过悬浮液磨料对工件进行成形加工的一种方法。

2) 特点

超声波加工的主要特点如下：

- (1) 适合于加工各种硬脆材料，特别是某些不导电的非金属材料。
- (2) 由于工具材料硬度很高，故易于制造形状复杂的型孔。
- (3) 加工时宏观切削力很小，不会引起变形、烧伤。
- (4) 加工机床结构和工具均较简单，操作维修方便。
- (5) 生产率较低。



超声波加工原理

3.6 特种加工

3.6.5 超声波加工

2. 超声波加工设备

尽管不同功率大小、不同公司生产的超声波加工设备在结构形式上各不相同，但一般都由高频发生器、超声振动系统（声学部件）、机床本体和磨料工作液循环系统等部分组成。

3. 超声波加工的应用

超声波加工的生产率虽然比电火花、电解加工等低，但加工精度和表面粗糙度都比它们好；能加工半导体、非导体的脆硬材料，如玻璃、石英、宝石、锗、硅甚至金刚石等。

在实际生产中，超声波广泛应用于型孔（腔）加工、切割加工、清洗等方面。



返回

4.1

数控加工常用夹具

4.2

机床专用夹具的设计

4.1 数控加工常用夹具



返回

4.1.1 数控加工对夹具的要求

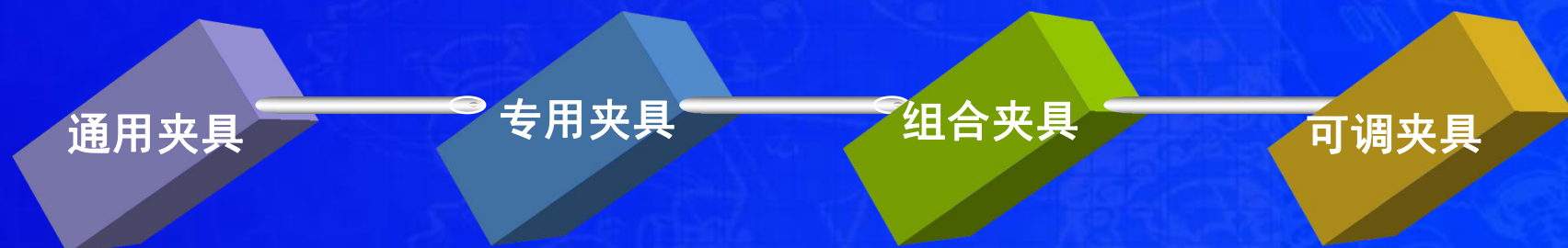
数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求：一是保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定；二是要能协调零件与机床坐标系的尺寸。除此之外，重点考虑以下几点：

- (1) 单件小批量生产时，优先选用组合夹具、可调夹具和其他通用夹具，以缩短生产准备时间和节省生产费用。
- (2) 在成批生产时，才考虑采用专用夹具，并力求结构简单。
- (3) 零件的装卸要快速、方便、可靠，以缩短机床的停顿时间。
- (4) 夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工，即夹具要敞开，其定位、夹紧机构元件不能影响加工中的走刀（如产生碰撞等）。
- (5) 为提高数控加工的效率，批量较大的零件加工可以采用多工位、气动或液压夹具。

4.1 数控加工常用夹具

4.1.2 机床夹具的分类

机床夹具按专门化程度可分为以下几种类型的夹具。



通用夹具是指已经标准化、无需调整或稍加调整就可以用来装夹不同工件的夹具。

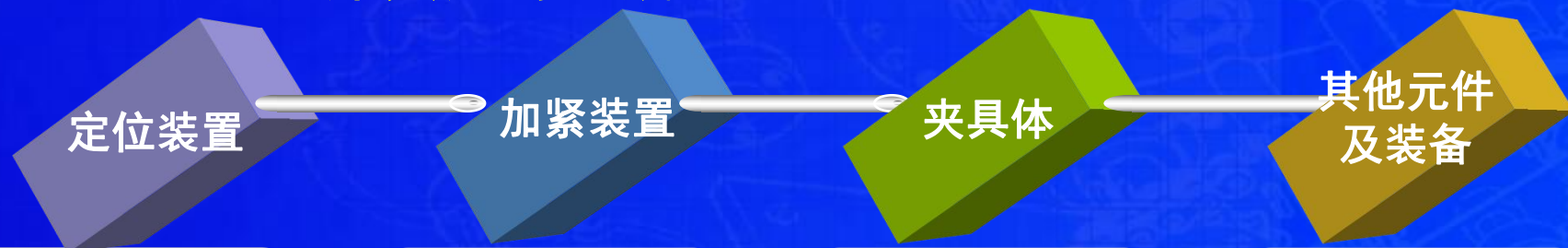
专用夹具是指按一定的工艺要求，由一套预先制造好的通用标准元件和部件组装成的夹具。

组合夹具是指按一定工艺要求，由一套预先制造好的通用标准元件和部件组装而成的夹具。

可调夹具包括通用可调夹具和成组夹具，它们兼有通用夹具和专用夹具的优点。

4.1 数控加工常用夹具

4.1.3 机床夹具的组成



定位装置是由定位元件及其组合而构成，用于确定工件在夹具中的正确位置，常见定位方式是以平面、圆孔和外圆定位。

夹紧装置用于保持工件在夹具中的既定位置，保证定位可靠，使其在外力作用下不致产生移动，包括夹紧元件、传动装置及动力装置等。

夹具体用于连接夹具各元件及装置，使其成为一个整体的基础件，以保证夹具的精度、强度和刚度。

其他元件及装备一般包括定位键、操作件、分度装置及连接元件。

4.1 数控加工常用夹具

4.1.4 组合夹具

1.组合夹具的特点

组合夹具有以下特点：

- (1) 灵活多变，为生产迅速提供夹具，缩短生产准备周期。
- (2) 保证加工质量，提高生产效率。
- (3) 节约人力、物力和财力。
- (4) 减少夹具存放面积，改善管理工作。

组合夹具也存在一些不足之处，如比较笨重，刚性也不如专用夹具好，但随着组合夹具元件品种的不断发展和组装技术的不断提高，其性能必将逐步得到改善。此外，组装成套的组合夹具，必须有大量元件储备，因此开始投资费用较大。

4.1 数控加工常用夹具

4.1.4 组合夹具

2.组合夹具的应用

(1) 从生产类型方面看，组合夹具的特点决定了它最适用于产品经常变换的生产。对于成批生产的产品，也可利用组合夹具以补充专用夹具数量之不足，或者用于当专用夹具损坏以及生产工艺变更时。对于大批量生产的产品，有时也可适当考虑采用组合夹具。

(2) 从加工工种方面看，组合夹具可用于钻、车、铣、刨、磨、镗、检验等工种，其中以钻床夹具应用量为最大。若与气动、液压等传动装置相结合，还能组成高效率的夹具。

(3) 从加工工件的几何形状和尺寸方面看，组合夹具一般可不受工件形状复杂程度的限制，很少遇到因工件形状特殊而不能组装夹具的情况。

(4) 从加工工件的公差等级方面看，由于组合夹具元件本身为IT2公差等级，因此在一般情况下，通过各组装环节的累积误差，工件加工公差等级可达IT3级，如果经过精心选配与调整，也能使工件加工公差等级达IT2级或更高。

4.1 数控加工常用夹具

4.1.4 组合夹具

3.组合夹具的系列和基本要素

组合夹具按其尺寸大小有小型、中型和大型等三种系列，其区别主要在于元件的基本要素。组合夹具的基本要素为外形尺寸、T形槽宽度和螺栓及其螺孔的直径。

4.组合夹具的元件

组合夹具的元件，按其用途不同，可分为八大类。



基础件



支承件



定位件



导向件



夹紧件



紧固件



其他件



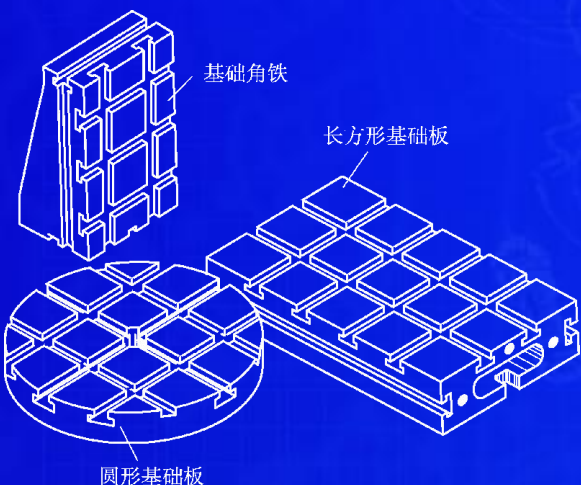
组合件

4.1 数控加工常用夹具

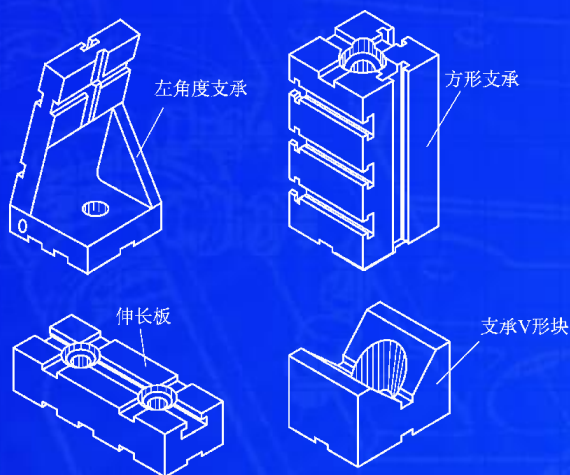
基础件包括各种规格尺寸的方形、矩形、圆形基础板和基础角铁等。

支承件包括各种规格尺寸的垫片、垫板、方形和矩形支承、角度支承、角铁、菱形板、V形块、螺孔板、伸长板等。

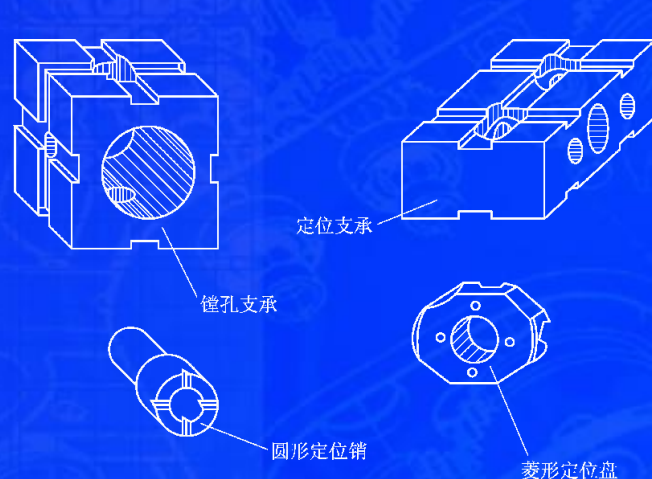
定位件包括各种定位销、定位盘、定位键、对位轴、定位支座、定位支承、镗孔支承、顶尖等。



基础件



支承件

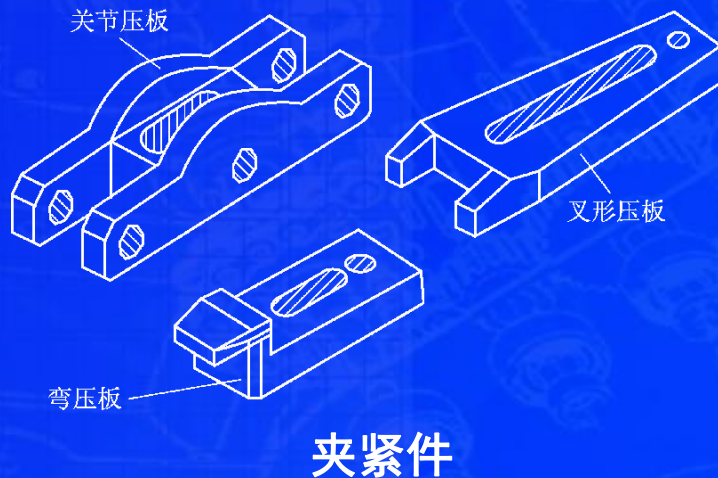
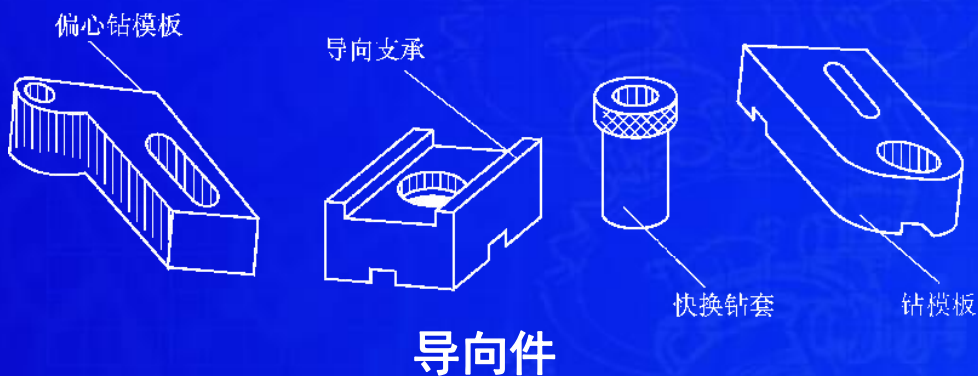


定位件

4.1 数控加工常用夹具

导向件包括各种钻模板、钻套、铰套和导向支承等。

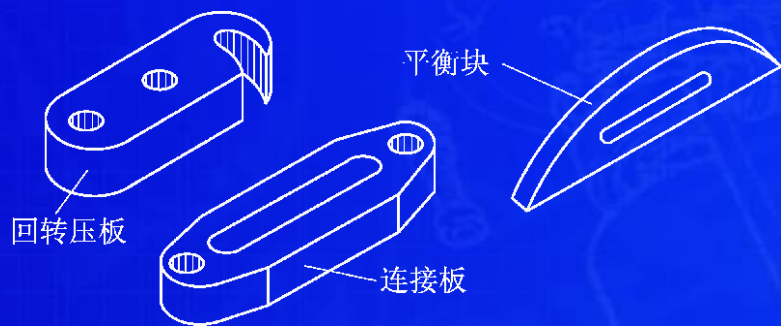
夹紧件包括各种形状尺寸的压板。



紧固件包括各种螺栓、螺钉、螺母和垫圈等。紧固件主要用来把夹具上各种元件连接紧固成一整体，并可通过压板把工件夹紧在夹具上。

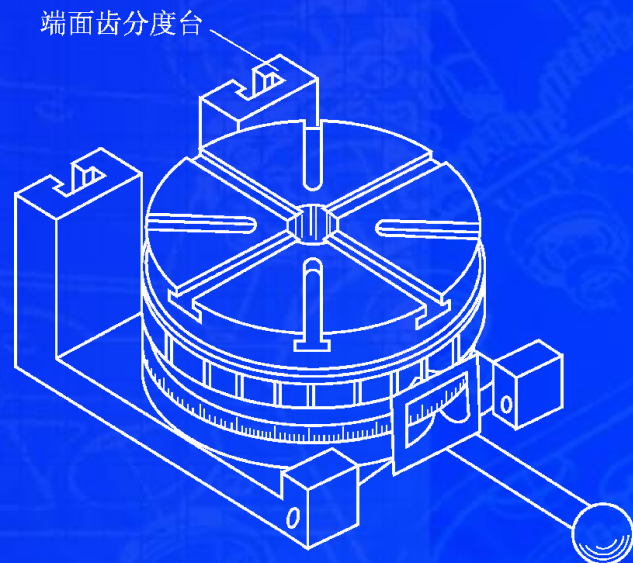
4.1 数控加工常用夹具

其他件包括包括除了上述六类以外的各种用途的单一元件，例如连接板、回转压板、浮动块、各种支承钉、支承帽、二爪支承、三爪支承、平衡块等。



其他件

组合件指在组装过程中不拆散使用的独立部件。按其用途可分为定位合件、导向合件、夹紧合件和分度合件等。

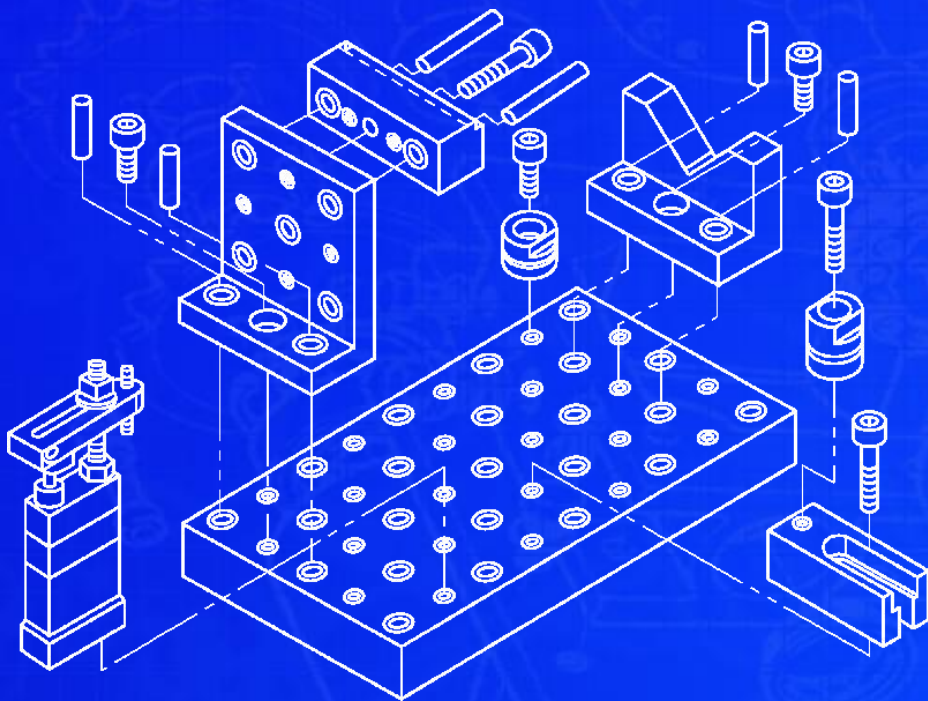


组合件

4.1 数控加工常用夹具

5.组合夹具组装实例

按图中双点画线的示意，即可完成孔系组合夹具的组装。



孔系组合夹具

4.2 机床专用夹具的设计



返回

4.2.1 机床专用夹具设计方法和步骤

1. 夹具设计要求

- (1) 所设计的专用夹具，应当既能保证工序的加工精度又能保证工序的生产节拍。
- (2) 夹具的操作要方便、省力和安全。
- (3) 能保证夹具一定的使用寿命和较低的制造成本。
- (4) 要适当提高夹具元件的通用化和标准化程度。
- (5) 应具有良好的结构工艺性，以便于夹具的制造和维修。

2. 夹具设计步骤

- (1) 设计准备。根据设计任务书，明确各种要求，熟悉图纸，了解零件的作用和材料等，收集加工设备的资料和相关标准。
- (2) 夹具方案设计。首先确定夹具的类型、工件的定位方案，选择合适的定位元件；再确定工件的夹紧方式，选择合适的夹紧机构、对刀元件、导向元件等其他元件；最后确定夹具总体布局、夹具体的结构形式和夹具与机床的联接方式，绘制出总体草图。

4.2 机床专用夹具的设计

4.2.1 机床专用夹具设计方法和步骤

(3) 绘制夹具总装配图

总装配图的比例一般取1:1，但若工件过大或过小，可控制图比例缩小或放大。夹具总装配图应有良好的直观性，因此，总装配图上的主视图，应尽量选取正对操作者的工作位置。在完整地表示出夹具工作原理的基础上，总装配图上的视图数量要尽量少。

总装配图的绘制顺序如下：先用黑色双点画线画出工件的外形轮廓、定位基准面、夹紧表面和被加工表面，被加工表面的加工余量可用网纹线表示。必须指出：总装配图上的工件，是一个假想的透明体，因此，它不影响夹具各元件的绘制。此后，围绕工件的几个视图依次绘出：定位元件、对刀（或导向）元件、夹紧机构、力源装置等的夹具体结构；最后绘制夹具体；标注有关尺寸、形位公差和其他技术要求；零件编号；编写主标题栏和零件明细表。

4.2 机床专用夹具的设计

4.2.2 夹具总装配图的主要尺寸和技术条件

主要尺寸

外形轮廓尺寸、工件与定位元件之间的联系尺寸、对刀或导向元件与定位元件之间的联系尺寸、与夹具安装有关的尺寸、其他配合尺寸。

位置精度

定位元件之间的位置精度、连接元件（含夹具体基面）与定位元件之间的位置精度、对刀或导向元件的位置精度。

其他技术条件

夹具在制造上和使用上的其他要求，如夹具的平衡和密封、装配性能和要求、磨损范围和极限、打印标记和编号及使用中应注意的事项等，要用文字标注在夹具总装配图上。



返回

5.1

数控加工工艺概述

5.2

数控加工工艺设计

5.3

数控加工工艺文件

5.1 数控加工工艺概述



返回

1. 生产过程

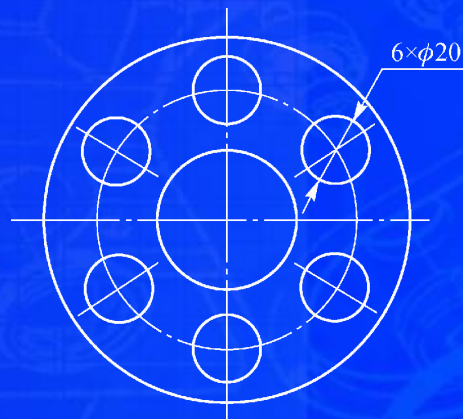
生产过程是指把原材料转变为成品的全过程。

2. 工艺过程

工艺过程是指改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程。机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的，而工序又由工步、走刀、安装和工位组成。

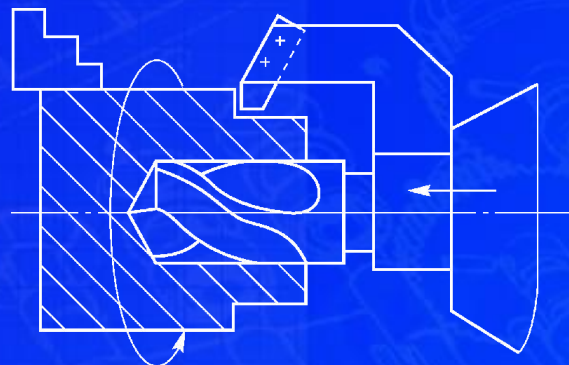
(1) 工步。工步是指在加工表面（或装配连接面）和加工（或装配）工具不变的情况下，所连续完成的那一部分工序内容。

划分工步的依据是加工表面和加工工具是否变化。但是，为了简化工艺文件，对在一次安装中连续进行的若干个相同工步，通常都看作一个工步。例如，零件上6个 $\Phi 20$ mm的孔，可写成一个工步，即钻 $6 \times \Phi 20$ mm孔。



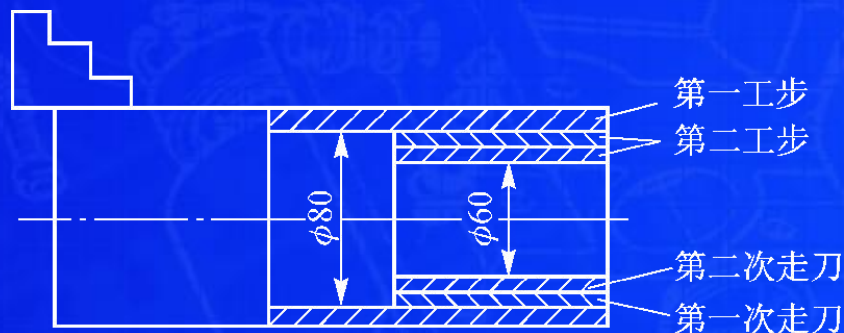
5.1 数控加工工艺概述

为了提高生产率，有时用几把不同的刀具或复合刀具同时加工一个零件上的几个表面，通常将此工步称为复合工步。例如，钻削和车削同时进行，就是一个复合工步。



钻、车复合工步

(2) 走刀。在一个工步内，若被加工表面需切除的余量较大，可分几次切削，每次切削称为一次走刀。例如，阶梯轴的车削走刀，第一工步只需一次走刀，第二工步需分两次走刀。

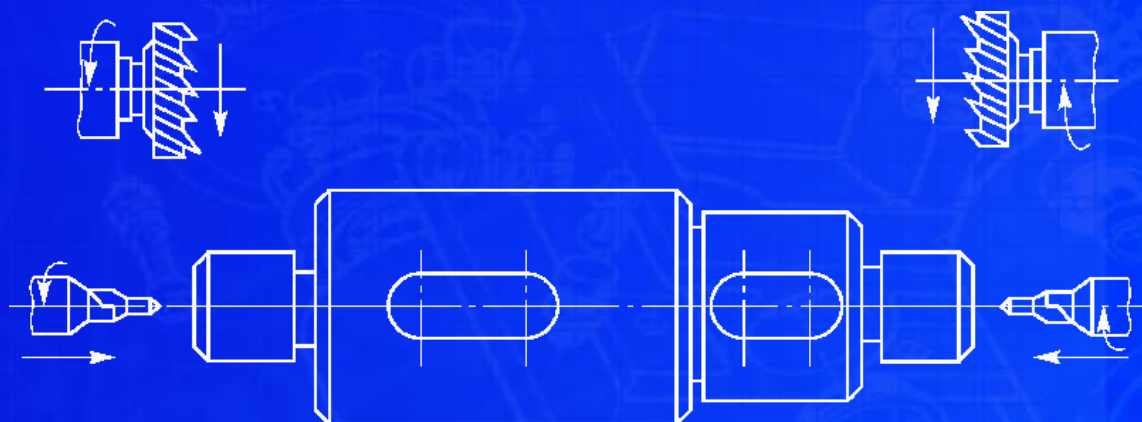


阶梯轴的车削走刀

5.1 数控加工工艺概述

(4) 安装。安装是指工件经一次装夹后所完成的那一部分工序。在一道工序中，工件可能只需要安装一次，也可能需要安装几次。

(5) 工位。工位是指为了完成一定的工序内容，一次装夹工件后，工件（或装配单元）与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置。例如，可利用移动工作台或移动夹具在一次安装中依次完成铣端面、钻中心孔两个工位的加工。



阶梯轴的多工位加工

5.1 数控加工工艺概述

3.生产类型

根据生产纲领的大小和产品品种的多少，机械制造的生产类型可分为单件生产、大量生产和成批生产3种类型。

(1) 单件生产。单件生产是指产品品种多，而每一种产品的结构、尺寸不同，产量很少，各个工作地点的加工对象经常改变，且很少重复的生产类型。

(2) 大量生产。大量生产是指产品数量很大，大多数工作地点长期地按固定节拍进行某一个零件的某一道工序的加工。

(3) 成批生产。成批生产是指一年中分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品均有一定的数量，工作地点的加工对象周期性地重复。

按照成批生产中每批投入生产的数量（即批量）大小和产品的特征，成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产3种。

5.2 数控加工工艺设计



返回

5.2.1 数控加工工艺规程内容

一个零件的工艺过程，是根据产品的生产类型、零件的大小和复杂程度，结合本厂或车间的设备等具体条件制订的。规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法的工艺文件，称为工艺规程。

1. 适于数控加工的内容

在选择适于数控加工的内容时，一般可按下列顺序考虑：

- (1) 普通机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
- (2) 普通机床难加工，质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。
- (3) 普通机床加工效率低，工人手工操作劳动强度大的内容，可在数控机床尚存在富余加工能力时选择。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.1 数控加工工艺规程内容

2. 不适于数控加工的内容

(1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准，需用专用工装协调的内容。

(2) 加工部位分散，需要多次安装、设置原点。这时采用数控加工很麻烦，效果不明显，可安排通用机床加工。

(3) 按某些特定的制造依据加工的型面轮廓。这样的型面轮廓获取数据困难，易与检验依据发生矛盾，程序编制比较困难。

此外，在选择和决定加工内容时，也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转等情况。总之，要尽量做到合理安排，防止把数控机床降格为普通机床使用，达到“多、快、好、省”的目的。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.2 数控加工工艺分析

1. 尺寸数据应符合编程方便的原则

- (1) 零件图上尺寸标注方法应适应数控加工的特点。
- (2) 构成零件轮廓的几何元素的条件应充分。

2. 结构工艺性应符合数控加工的特点

零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点，具体内容如下：

- (1) 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸。
- (2) 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小，因而内槽圆角半径不应过小。
- (3) 零件铣削底平面时，槽底圆角半径 r 不应过大。
- (4) 应采用统一的基准定位。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.3 加工方法的选择

加工方法的选择原则是保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。

1. 选择加工方法时应考虑的因素

- (1) 应选择经济的加工精度及表面粗糙度。
- (2) 应考虑工件材料的性质及热处理。
- (3) 应考虑工件的结构类型及尺寸大小。
- (4) 应考虑生产纲领。
- (5) 应考虑现有生产条件。

2. 各种表面的加工方案

表面加工主要是指外圆、孔和平面的加工。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.4 工艺方案的确定

工艺方案又称为加工方案，就是依据图纸信息编制加工工序，确定加工工步及走刀路线等内容。

1. 加工顺序的安排

机械加工顺序的安排

- ☆先粗后精
- ☆先近后远
- ☆先内后外
- ☆先次后主
- ☆走刀路线最短

热处理工序的安排

- ☆预备热处理
- ☆最终热处理

辅助工序的安排

- ☆检验
- ☆去磁
- ☆平衡

5.2 数控加工工艺设计

5.2.4 工艺方案的确定

2.划分加工阶段

1) 三个加工阶段

数控加工中，一般把加工过程划分为粗加工、半精加工和精加工3个阶段。

2) 划分加工阶段的目的

保证加工质量，合理使用设备，及时发现毛坯缺陷，便于安排热处理，保护精加工表面少受磕碰损伤。

3.工序集中与工序分散的选择

1) 工序集中

利于采用高生产效率的设备；工序集中，工件装夹次数可减少，在一次装夹中可加工较多的表面，容易保证零件间的相互位置精度；减少了工序数目，简化了工艺路线，缩短了生产周期；减少了机床设备、生产工人和生产场地，但一般对操作工人的技术水平要求较高。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.4 工艺方案的确定

2) 工序分散

工序分散一般都可利用普通机床和通用的工艺设备；对操作工人的技术水平要求不高，产品变换容易；大量生产时的流水线式生产方式，就是采用工序分散的方法。

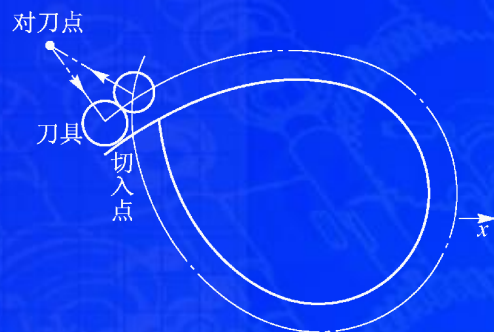
3) 确定工序集中与工序分散的原则

单件小批生产应采用管理式的工序集中；成批生产中，对结构复杂、精度要求高的大型零件，为减少运输与安装困难，应采用机械式的工序集中；在大批大量生产中，对精度高、刚性差、结构简单的小型零件，为组成流水作业线，应采用工序分散。

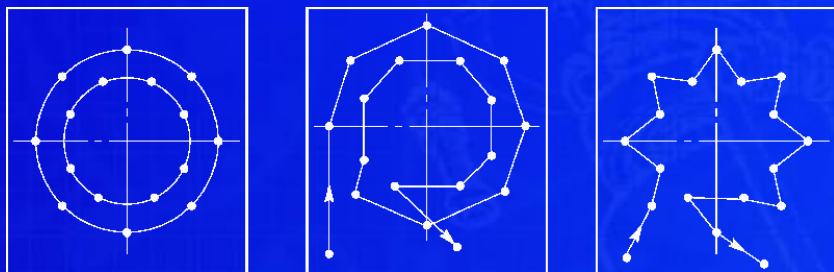
5.2 数控加工工艺设计

5.2.5 走刀路线的确定

走刀路线就是刀具在整个加工工序中的运动轨迹，它不但包括了工步的内容，也反映出工步顺序。走刀路线是编写程序的依据之一。确定走刀路线时应注意以下几点：寻求最短加工路线，最终轮廓一次走刀完成，选择切入切出方向，选择使工件在加工后变形小的路线。



刀具切入和切出外轮廓的进给路线

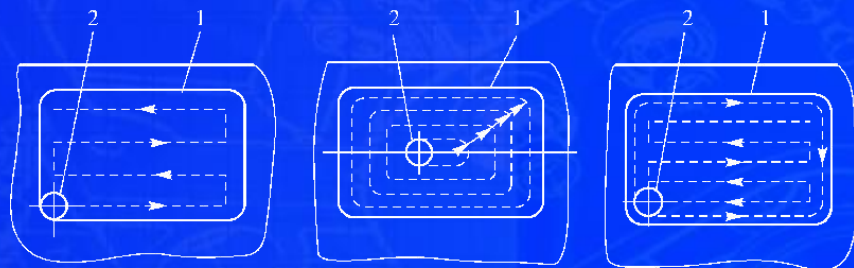


(a)

(b)

(c)

最短走刀路线的确定



(a)行切法

(b)环切法

(c)先行切后环切

最短走刀路线的确定

1—工件凹槽轮廓； 2—铣刀

5.2 数控加工工艺设计

5.2.6 加工设备的选择

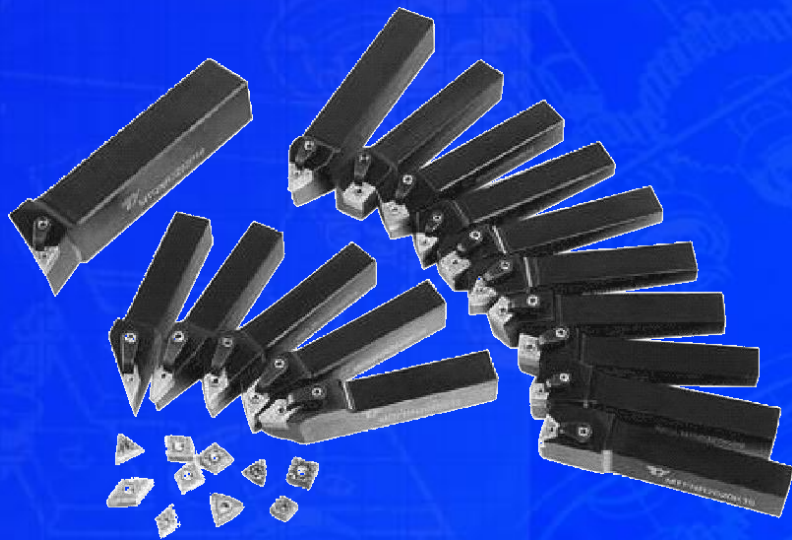
加工设备的选择包括数控加工设备、刀具、夹具和量具的选择。

1. 确定数控加工设备

数控加工设备的选择应考虑以下问题：

- (1) 选择机床的规格要与被加工零件的尺寸相适应。
- (2) 选择机床的生产率要与被加工零件的生产纲领相适应。
- (3) 选择机床的加工精度要与被加工零件的精度相适应。

2. 刀具的选择



刀具的外形

5.2 数控加工工艺设计

5.2.6 加工设备的选择

选用刀具的原则如下：

- (1) 安装调整方便、刚性好、耐用度和精度高。
- (2) 在满足加工要求的前提下，尽量选择较短的刀柄，以提高刀具加工的刚性。
- (3) 选取刀具时，要使刀具的尺寸与被加工工件的表面尺寸相适应。
- (4) 根据表面结构选择刀具。

刀具的排列一般应遵循以下原则：

- (1) 尽量减少刀具数量。
- (2) 一把刀具装夹后，应完成其所能进行的所有加工步骤。
- (3) 粗、精加工的刀具应分开，即使是相同尺寸规格的刀具也是如此。
- (4) 先铣后钻。
- (5) 先进行曲面精加工，后进行二维轮廓精加工。
- (6) 在可能的情况下，应利用数控机床的自动换刀功能，以提高生产率等。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.6 加工设备的选择

3. 夹具的选择

数控机床的常用夹具包括组合夹具，多工位夹具，液压、电动及气动夹具。

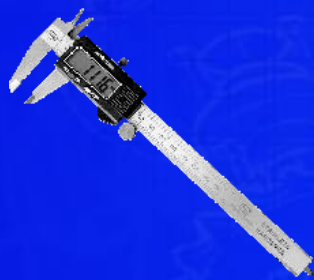
夹具的选用一般应遵循以下原则：

- (1) 为缩短生产准备周期，应优先考虑使用通用夹具、组合夹具，必要时可使用专用夹具。
- (2) 夹具在机床上定位和夹紧迅速、精确，以减少调整时间。
- (3) 夹具本身应有足够的刚度，以适应大切削用量切削。
- (4) 定位、夹紧机构应可靠，并考虑不要妨碍刀具对工件各部位的多面加工。
- (5) 应考虑使用气动、液压或电动等自动夹紧机构。
- (6) 对薄壁工件应考虑采取在粗加工后精加工前变换夹紧力的措施。
- (7) 对形状不规则或测定工件原点不方便的工件，可在夹具上设置找正定位面，以便设置工件原点。
- (8) 使夹具的定位、夹紧等部位无切屑积留，清理积屑方便。
- (9) 使用交换工作台，减少装卸工件的时间。
- (10) 单件小批生产时，优先选用通用夹具、可调夹具和组合夹具，以缩短生产准备时间，节省生产费用。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.6 加工设备的选择

量具是以固定形式复现量值的测量器具。



(a)游标卡尺



(b)螺旋测微器



(c)百分表

量具的外形

量具具有如下特点：

- (1) 量具的标称值就是单位量值的实际大小。
- (2) 在结构上一般没有测量机构，没有指示器或运动着的零部件。
- (3) 有些量具由于没有测量机构，如不依赖其他配用的测量器具，就不能直接测出被测量值。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.7 定位基准的选择

1. 基准的分类

定位基准分为精基准和粗基准。在起始工序中，只能选用未经机加工过的毛坯表面作为定位基准，这种基准称为粗基准。用加工过的表面所作的定位基准称为精基准。

定位基准分为精基准和粗基准。在起始工序中，只能选用未经机加工过的毛坯表面作为定位基准，这种基准称为粗基准。用加工过的表面所作的定位基准称为精基准。

设计图样上所采用的基准，称为设计基准。

在工艺过程中所采用的基准称为工艺基准，它包括装配基准、测量基准、工序基准和定位基准。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.7 定位基准的选择

2. 基准的选择原则

粗基准在选择时一般遵循以下原则。

(1) 为保证不加工表面与加工表面之间的位置要求，应选择不加工表面为粗基准。

(2) 为保证重要加工面的余量均匀，应选择重要加工面为粗基准。

(3) 为保证各加工表面有足够的加工余量，应选择毛坯余量最小的面为粗基准。

(4) 粗基准比较粗糙而且精度低，一般在同一尺寸方向上不应重复使用。

(5) 粗基准的表面应尽量平整，没有浇口、冒口或飞边等其他表面缺陷，使工件定位可靠，夹紧方便。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.7 定位基准的选择

2.基准的选择原则

精基准在选择时可遵循下列原则：

- (1) 基准重合原则。
- (2) 基准统一原则。
- (3) 自为基准原则。
- (4) 互为基准原则。

如工件缺少作为工艺基准的适用表面，或已有表面精度过低，不宜作为工艺基准，这时需要在工件上设置或加工出作为工艺基准的表面，或将已有的表面提高加工精度后作为工艺基准，这种表面称为辅助基准。辅助基准也是工件的工艺基准。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.8 切削参数的确定

对于高效率的金属切削机床加工来说，被加工材料、切削刀具、切削用量是3个主要要素。这些要素决定着加工时间、刀具寿命和加工质量。

选择切削用量具体要考虑以下几个因素：

(1) 背吃刀量。在机床、工件和刀具刚度允许的情况下，背吃刀量 a_p 就等于加工余量，这是提高生产率的一个有效措施。

(2) 切削宽度。一般切削宽度 L 与刀具直径 d 成正比，与背吃刀量成反比。在经济型数控机床的加工过程中， L 的取值范围为

$$L = (0.6 \sim 0.9) d$$

(3) 切削速度。提高切削速度 v_c 也是提高生产率的一个有效措施，但 v_c 与刀具耐用度的关系比较密切。

(4) 主轴转速。主轴转速一般根据切削速度 v_c 来选定。其计算公式为

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

(5) 进给速度或进给量。进给速度 v_f 或进给量 f 应根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具和工件材料来选择。 v_f 或 f 的增加也可以提高生产效率。

5.2 数控加工工艺设计

5.2.9 加工程序的编写

数控编程分为手工编程和自动编程。手工编程是指编程的各个阶段均由人工完成。对于几何形状复杂的零件需借助计算机使用规定的数控语言编写零件源程序，经过处理后生成加工程序，称为自动编程。

具体地说，数控编程是指根据被加工零件的图纸和技术要求、工艺要求，将零件加工的工艺顺序、工序内的工步安排、刀具相对于工件运动的轨迹与方向、工艺参数及辅助动作等用数控系统所规定的规则、代码和格式编制成文件，并将程序单的信息制作成控制指令的整个过程。

5.3 数控加工工艺文件



返回

技术文件是对数控加工的具体说明，目的是让操作者更明确加工程序的内容、装夹方式、各个加工部位所选用的刀具及其他技术问题。

数控加工技术文件主要有数控编程任务书、工件安装和原点设定卡、数控加工工艺卡、数控加工工序卡、数控加工走刀路线图、数控加工刀具卡和数控加工程序等。文件格式可根据企业实际情况自行设计。



返回

6.1

数控车床典型零件加工工艺的制订

6.2

数控铣床典型零件加工工艺的制订

6.3

数控加工中心典型零件加工工艺的制订

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订



返回

6.1.1 确定数控加工的内容

普通车床无法加工的内容，普通车床难加工的内容，其他加工内容。

6.1.2 分析零件的结构工艺

结构工艺性分析

- ☆审查和分析零件图中的尺寸标注方法是否适应数控加工的特点
- ☆审查和分析零件图中构成轮廓的几何元素的条件是否正确
- ☆审查和分析在数控车床上加工时零件结构的合理性

精度及技术要求分析

- ☆分析精度及各项技术要求是否齐全、合理
- ☆分析本工序的数控车削加工精度能否达到设计要求
- ☆图样上位置精度要求较高的表面应在一次安装下完成
- ☆表面粗糙度要求较高的表面，应用恒线速切削

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订

6.1.3 确定数控加工的内容

编程原点的选择

- ★将编程原点选在设计基准上并以设计基准为定位基准
- ★容易找正对刀，对刀误差小
- ★编程方便
- ★在毛坯上的位置容易准确地确定，并且各面的加工余量均匀
- ★对称零件的编程原点应选在对称中心上

编程尺寸设定值的确定

- ★精度高的尺寸的处理
- ★几何关系的处理
- ★精度低的尺寸的调整
- ★节点坐标尺寸的计算
- ★编程尺寸的修正

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订

6.1.4 确定数控加工工艺过程

1. 零件表面数控车削加工方案的确定

(1) 确定数控车削外回转表面的加工方案。

(2) 确定数控车削内回转表面的加工方案。

2. 工序的划分

(1) 划分数控车削加工工序。

(2) 安排回转类零件非数控车削加工工序。

(3) 数控加工工序与普通工序的衔接。

3. 工序顺序的安排

(1) 先加工定位面。

(2) 先加工平面后加工孔，先加工简单的几何形状再加工复杂的几何形状。

(3) 对精度要求高，粗、精加工需分开进行的，先粗加工后精加工。

(4) 以相同定位、夹紧方式安装的工序，最好接连进行，以减少重复定位次数和夹紧次数。

(5) 中间穿插有通用机床加工工序的，要综合考虑合理安排其加工顺序。

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订

6.1.4 确定数控加工工艺过程

4. 工步顺序和进给路线的确定

1) 确定进给路线的主要原则

(1) 首先按已定工步顺序确定各表面加工进给路线的顺序。

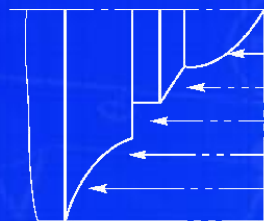
(2) 所定进给路线应能保证工件轮廓表面加工后的精度和粗糙度要求。

(3) 寻求最短加工路线（包括空行程路线和切削路线），减少走刀时间以提高加工效率。

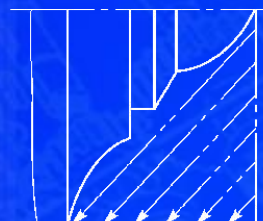
(4) 要选择工件在加工时变形小的路线，对横截面积小的细长零件或薄壁零件应采用分几次走刀加工到最后尺寸或对称去余量法安排进给路线。

2) 粗加工进给路线的确定

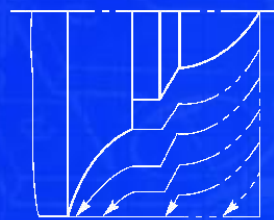
常用最短的粗加工切削进给路线。



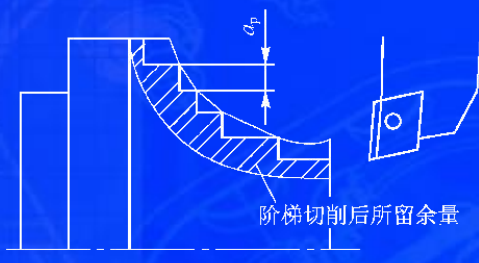
(a)“矩形”循环进给



(b)“三角形”循环进给



(c)沿轮廓形状等距线循环进给



(d)阶梯切削进给

常用的粗加工进给路线

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订

6.1.4 确定数控加工工艺过程

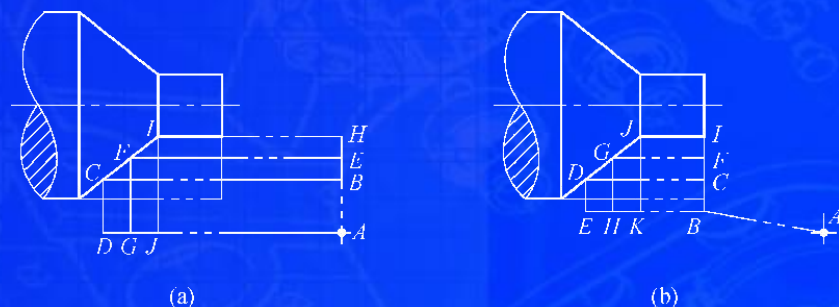
3) 精加工进给路线的确定

- (1) 完工轮廓的进给路线。
- (2) 换刀加工时的进给路线。
- (3) 切入、切出及接刀点位置的选择。

(4) 各部位精度要求不一致的精加工进给路线。

4) 最短空行程进给路线的确定

- (1) 巧用起刀点。
- (2) 巧设换（转）刀点。
- (3) 合理安排“回零”路线。



起刀点不同

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订

6.1.4 确定数控加工工艺过程

5) 特殊的进给路线特殊的进给路线
刀尖运动到圆弧的换象限处，吃刀抗力与传动横拖板的传动力方向相同，若螺旋副间有机械传动间隙，就可能使刀尖嵌入零件表面（即“扎刀”），其嵌入量在理论上等于其机械传动间隙量。

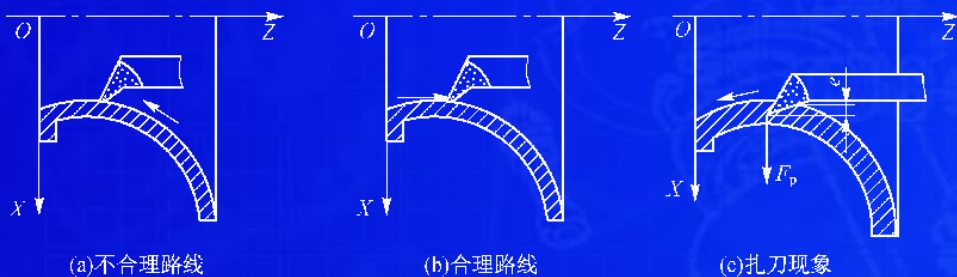
6) 数控加工余量、工序尺寸及公差确定

(1) 数控车削加工余量的确定。

(2) 数控车削加工工序尺寸及公差的确定。

7) 切削用量的选择

数控车削加工的切削用量包括背吃刀量、主轴转速或切削速度（用于恒线速切削）、进给速度或进给量。



圆弧换象限处的刀尖运动

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订

6.1.4 确定数控加工工艺过程

8) 首件试加工与现场问题处理

根据实测结果和现场问题处理方案对所定工艺及所编程序进行修正，直至满足零件技术要求为止。

9) 数控加工专用技术文件

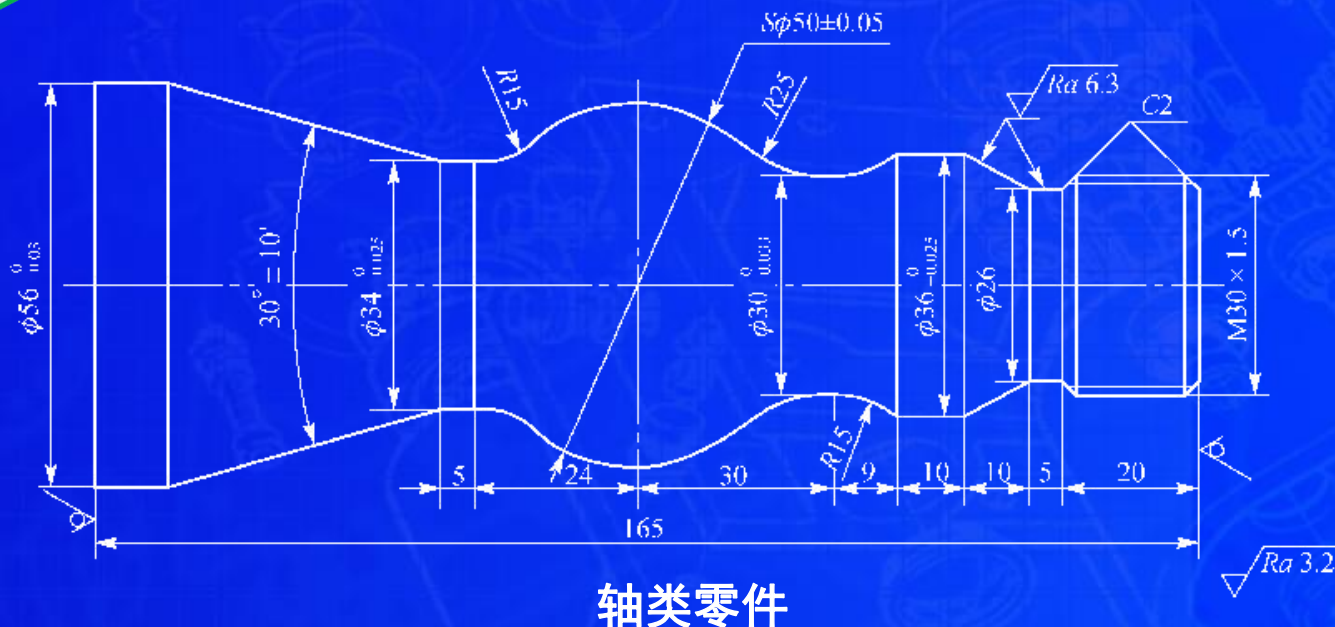
数控加工专用技术文件主要包括数控车削加工工序卡片、数控加工程序说明卡、数控加工走刀路线图、数控车削加工刀具卡片、数控车削加工刀具调整图、数控加工专用技术文件的编写要求。

6.1 数控车床典型零件加工工艺的制订



练一练

下面以在CK6140型数控车床上加工轴类零件为例，说明其数控车削加工工艺的设计过程。



6.2 数控铣床典型零件加工工艺的制订

返回

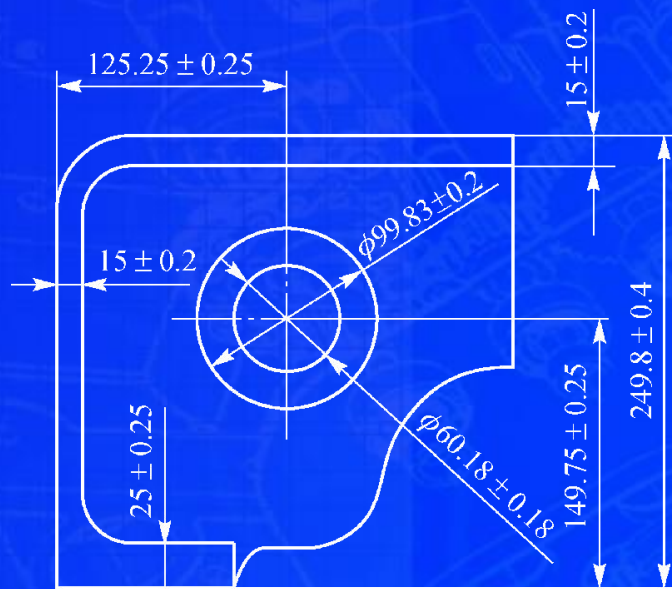
6.2.1 数控铣削加工零件工艺性分析

1. 零件图尺寸的标注方法

对于数控加工来说，零件图上应以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。为保证加工精度，应使其公差带对称分布。

2. 构成零件轮廓的几何元素条件

对复杂表面进行自动编程时，须仔细分析其数学模型是否能适应自动编程的要求。



零件尺寸公差的处理

6.2 数控铣床典型零件加工工艺的制订

6.2.1 数控铣削加工零件工艺性分析

3.零件的结构工艺性

对于数控铣削加工的零件，其结构工艺性除应满足普通铣床对零件工艺性的要求外，还应注意以下问题：

- (1) 零件的内腔和外形应尽量采用统一的几何类型和尺寸，尤其是加工面转接处的凹圆半径。
- (2) 槽和缘板之间的转接圆角半径不应过小。
- (3) 铣削零件底部平面时，槽底圆角半径 R 不应过大。
- (4) 数控加工的定位基准。
- (5) 分析零件的变形情况。
- (6) 选择合适的加工方案。

6.2 数控铣床典型零件加工工艺的制订

6.2.3 数控铣削加工的工艺路线设计

1. 确定进给路线的原则

进给路线应保证被加工工件的精度和表面粗糙度。

2. 铣削加工时进给路线的确定

点的确定

- ☆ 程序起始点和返回点
- ☆ 切入点
- ☆ 切出点

进刀、退刀方式的确定

- ☆ 沿Z轴方向直接进刀或退刀
- ☆ 沿给定的矢量方向进刀或退刀
- ☆ 沿曲面的切线方向以直线进刀或退刀
- ☆ 沿曲面的法线方向进刀或退刀
- ☆ 沿圆弧段方向进刀或退刀
- ☆ 沿螺旋线或斜线进刀

平面的确定

- ☆ 起始平面
- ☆ 返回平面
- ☆ 进刀平面
- ☆ 退刀平面
- ☆ 安全平面

6.2 数控铣床典型零件加工工艺的制订

6.2.3 数控铣削加工的工艺路线设计

3. 逆铣、顺铣及切削方向、切削方式的确定

1) 逆铣、顺铣的确定

铣刀的旋转方向和工件的进给方向相反时称为逆铣，相同时称为顺铣。

2) 切削方向和切削（走刀）方式的确定

切削方向是指在切削加工时刀具的运动方向。切削（走刀）方式是指生成刀具运动轨迹时，刀具运动轨迹的分布方式。切削方向的选择原则为根据被加工零件表面的几何形状，在保证加工精度的前提下，使切削加工时间尽可能短。

6.2 数控铣床典型零件加工工艺的制订

6.2.3 数控铣削加工的工艺路线设计

4. 数控铣削加工工艺文件的制订

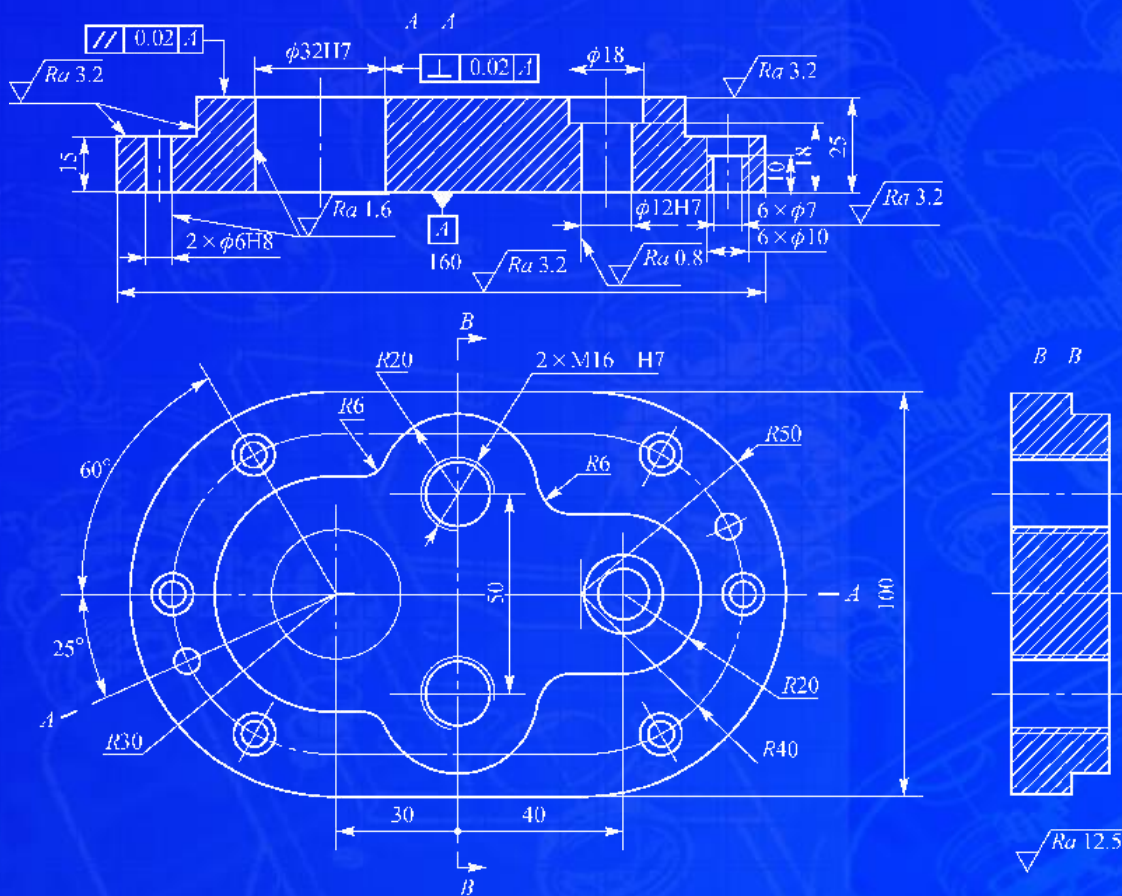
- (1) 根据工艺分析设计制订数控铣削加工工艺卡。
- (2) 针对每一道工序设计工序卡。
- (3) 根据加工工艺分析制订刀具卡片。
- (4) 根据加工内容编写加工程序。

6.2 数控铣床典型零件加工工艺的制订



练一练

数控铣削加工泵盖零件，材料为HT200，毛坯尺寸（长×宽×高）为170 mm×110 mm×30 mm，小批量生产，试分析其数控铣削加工工艺过程。



轴类零件

6.3 数控加工中心典型零件加工工艺的制订



返回

6.3.1 零件工艺性分析

(1) 零件图样应表达正确，标注齐全，同时要特别注意，图样上应尽量采用统一的设计基准，从而简化编程，保证零件的精度要求。

(2) 对图纸进行分析，确定合理的工艺路线。

(3) 刀具的尺寸规格要选好，并将测出的刀具实际尺寸填入刀具卡。

(4) 确定合理的切削用量，主要是主轴转速、背吃刀量、进给速度等。

(5) 应留有足够的自动换刀空间，以避免刀具与工件或夹具碰撞。换刀位置建议设置在机床原点。

6.3 数控加工中心典型零件加工工艺的制订

6.3.2 工艺过程设计

工艺过程设计时主要考虑精度和效率两个方面，一般遵循先面后孔、先基准后其他、先粗后精的原则。对位置精度要求较高的孔系加工，要特别注意安排孔的加工顺序，安排不当，就有可能将传动副的反向间隙带入，直接影响位置精度。加工过程中为了减少换刀次数，可采用刀具集中工序，即用同一把刀具把零件上相应的部位都加工完，再换第二把刀具继续加工。但是，对于精度要求很高的孔系，若零件是通过工作台回转确定相应的加工部位，则因存在重复定位误差，不能采取这种方法。对于刚性差、批量较大、要求精度较高的箱体，一般要粗、精加工分开进行，即在主要平面和各支承孔的粗加工之后再行主要平面和各支承孔的精加工。

6.3 数控加工中心典型零件加工工艺的制订

6.3.3 制订加工工艺

1. 加工方法的选择

加工方法的选择原则是保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。

2. 加工阶段的划分

加工质量要求较高时，通常划分为粗加工、半精加工和精加工3个阶段。

3. 加工顺序的安排

要遵循基面先行、先粗后精、先主后次及先面后孔的一般工艺原则。

4. 装夹方案的确定

为了简化定位与安装，夹具的每个定位面相对加工中心的加工原点都应有精确的坐标值。

5. 进给路线的确定

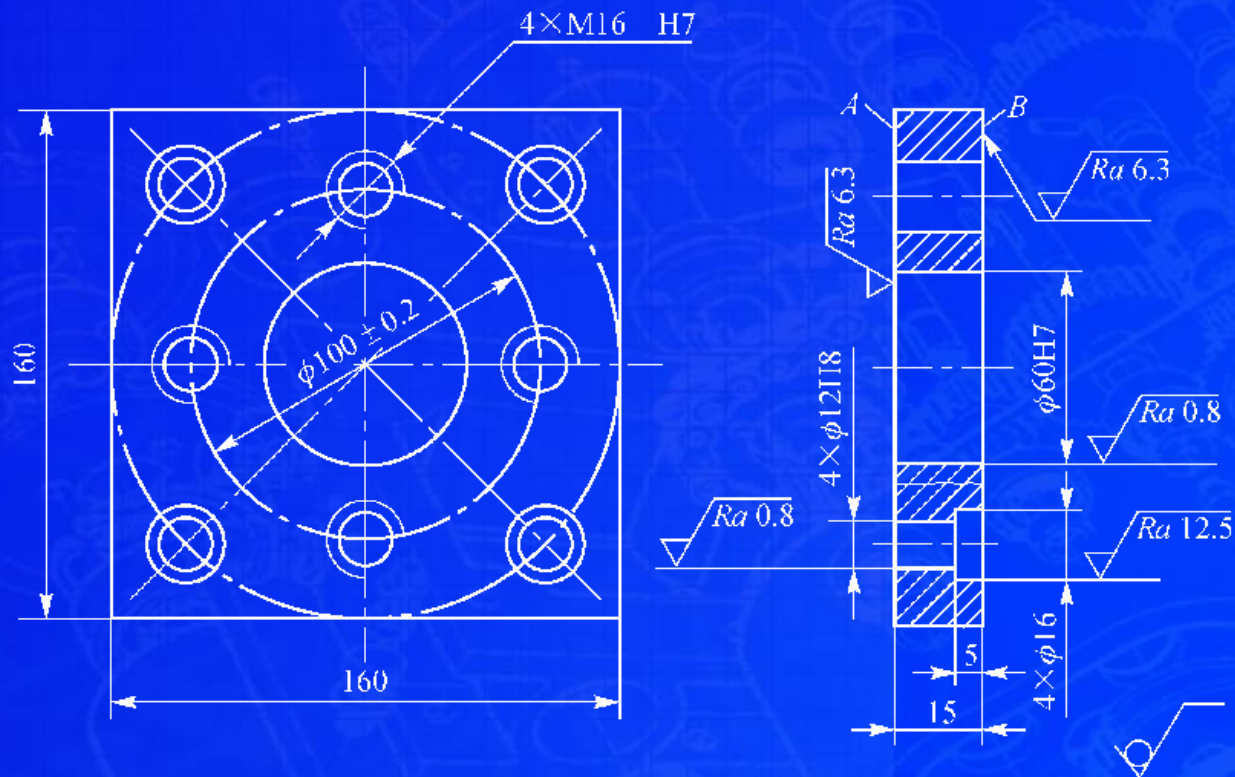
确定进给路线时，在保证被加工零件获得良好的加工精度和表面质量的前提下，力求计算容易，走刀路线短，空刀时间少。

6.3 数控加工中心典型零件加工工艺的制订

返回

练一练

使用数控加工中心加工端盖零件，已知毛坯材料为HT200，尺寸为160 mm×160 mm×18 mm，试分析其加工工艺过程。



轴类零件



返回

7.1

机械加工精度

7.2

机械加工表面质量

7.1 机械加工精度



返回

7.1.1 机械加工精度概述

1.加工精度

加工精度是指零件加工后实际的几何参数（几何尺寸、几何形状和表面间的相对位置）与理想零件的几何参数的符合程度。加工精度包括尺寸精度、形状精度和位置精度。

2.加工误差

加工误差是指零件加工后实际的几何参数与理想零件的几何参数的不符合程度。加工精度与加工误差都是评价加工表面几何参数的术语。

3.加工经济精度

某种加工方法的加工经济精度不应理解为某一个确定值，而应理解为一个范围，在这个范围内都可以说是经济的。

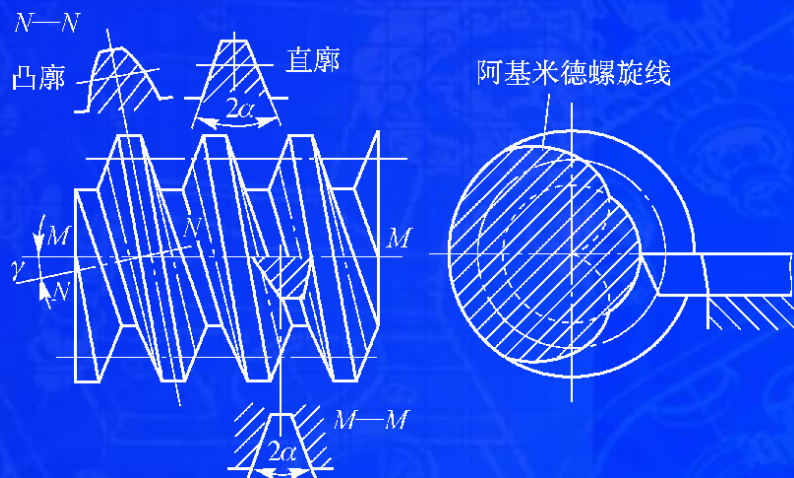
7.1 机械加工精度

7.1.2 影响加工精度的因素

造成加工误差的工艺系统原有误差，称为原始误差。原始误差主要有工艺系统的几何误差、定位误差、工艺系统受力变形引起的加工误差、工艺系统受热变形引起的加工误差、工件内应力重新分布引起的形变误差以及原理误差、调整误差、测量误差等。

1. 原理误差

原理误差是指加工工艺中采用了近似的成形运动或刀刃形状而产生的误差。例如，采用阿基米德基本蜗杆代替渐开线基本蜗杆，由此产生的加工误差都属于原理误差。



采用阿基米德基本蜗杆加工齿轮

7.1 机械加工精度

7.1.2 影响加工精度的因素

2. 工艺系统的几何误差

机床的几何误差

机床工作时，由于主轴部件在制造、装配过程中存在各种误差，使得主轴回转轴线的空间位置在每一瞬间都处于变动状态，而产生回转误差。主轴回转误差包括轴向窜动、角度摆动和径向跳动3种基本形式。

道轨误差

除了导轨本身的制造误差外，导轨的不均匀磨损和安装质量也是造成导轨误差的重要因素。其中，道轨的制造误差包括机床导轨的制造误差包括导轨在水平面的直线度误差、导轨在垂直面的直线度误差、前后导轨在垂直面的平行度误差。

传动链误差

传动链误差是指传动链始末两端传动元件间相对运动的误差。一般用传动链末端元件的转角误差来衡量。

7.1 机械加工精度

7.1.2 影响加工精度的因素

3. 刀具的几何误差

(1) 一般刀具（车刀、镗刀和刨刀等）的几何误差对工件加工精度没有直接影响。

(2) 定尺寸刀具（钻头、铰刀和拉刀等）的几何误差将直接影响工件的加工精度。

(3) 成形刀具（成形车刀或成形铣刀）的几何误差将直接影响工件的形状精度。

(4) 刀具磨损将影响工件的加工精度。如加工一根长轴时，车刀磨损将使轴产生锥度。采用调整法加工时，刀具磨损将使一批工件产生尺寸分散。

(5) 成形刀具的磨损将引起被加工表面的形状误差。

7.1 机械加工精度

7.1.2 影响加工精度的因素

4. 夹具的几何误差

夹具的几何误差主要由以下几个方面引起：

- (1) 定位元件、刀具导向元件、分度机构和夹具体的制造误差。
- (2) 夹具元件装配误差。
- (3) 夹具在长期使用过程中工作表面的磨损。

5. 工具安装误差

工件的定位、夹紧不当，会使工件偏离正确位置而产生加工误差，包括基准不重合误差和定位不准确误差。

6. 调整误差

在零件加工过程中，为了获得良好的形状、尺寸和位置精度，必须对机床、夹具、刀具和工件进行调整。调整方法有试切法和调整法。

7.1 机械加工精度

7.1.2 影响加工精度的因素

7.测量误差

工件在加工过程中要用各种量具、量仪等进行检验测量，再根据测量结果对工件进行试切或对机床进行调整。量具本身的制造误差、测量时的接触力、温度、目测准确程度等，都直接影响加工误差。因此，要正确地选择和使用量具，以保证测量精度。

7.1 机械加工精度

7.1.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响

机械加工时，在切削力、传动力、惯性力、夹紧力以及重力的作用下，工艺系统将产生相应的变形和振动。这种变形和振动破坏了工件和刀具之间的准确位置与速度关系，也破坏了切削过程的稳定性，从而造成了被加工零件的各种误差及表面粗糙度。例如，加工细长轴时，在切削力作用下，工件因弹性变形产生“让刀”现象，中部变形最大，切深最小，而两端变形最小，切深减小量不大，使加工出的轴的外圆柱面呈腰鼓形。



工艺系统受力变形对加工精度的影响

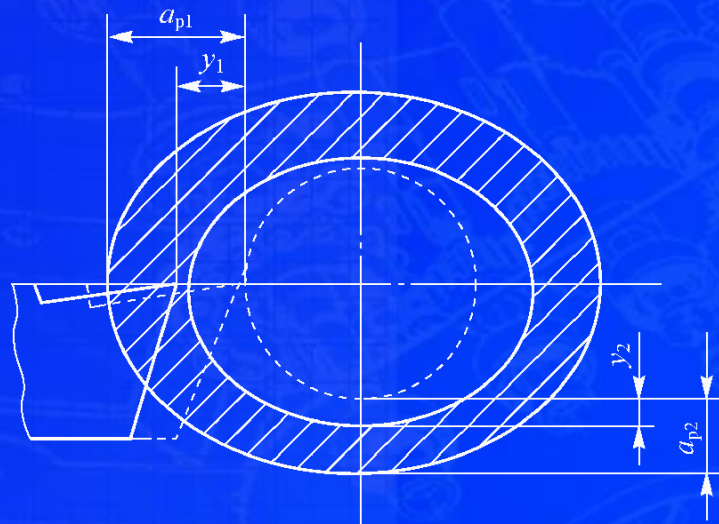
7.1 机械加工精度

7.1.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响

1. 各种受力变形引起的误差

1) 切削力引起的误差

切削力着力点位置变化以及切削力大小变化都会对加工精度产生影响。例如，由于工件加工前存在圆度误差，在切削时，切深不一致，因此，在加工后工件上仍留有较小的圆度误差。把工件加工前的误差以相似的形状反映到加工后的工件上去的这一规律，称为误差复映。



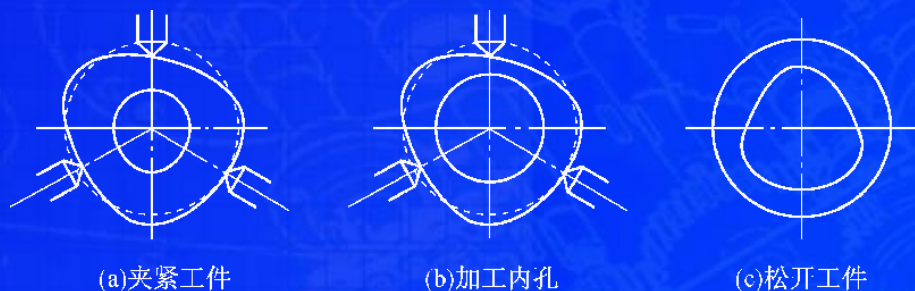
误差复映现象

7.1 机械加工精度

7.1.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响

2) 夹紧力引起的误差

当工件的刚度较差时，因夹紧时的变形所引起的加工误差是影响加工精度的主要因素。例如，依次为用三爪卡盘夹紧工件、加工内孔、加工后松开工件时工件内孔产生的误差。



夹紧力引起的加工误差

3) 离心力（或惯性力）对加工精度的影响

在加工过程中，高速回转的零部件（夹具、工件、刀具）的不平衡将产生离心力，离心力不断改变方向，它在法向方向分力大小的变化，将会使工艺系统的受力变形也随之变化，从而产生加工误差。

7.1 机械加工精度

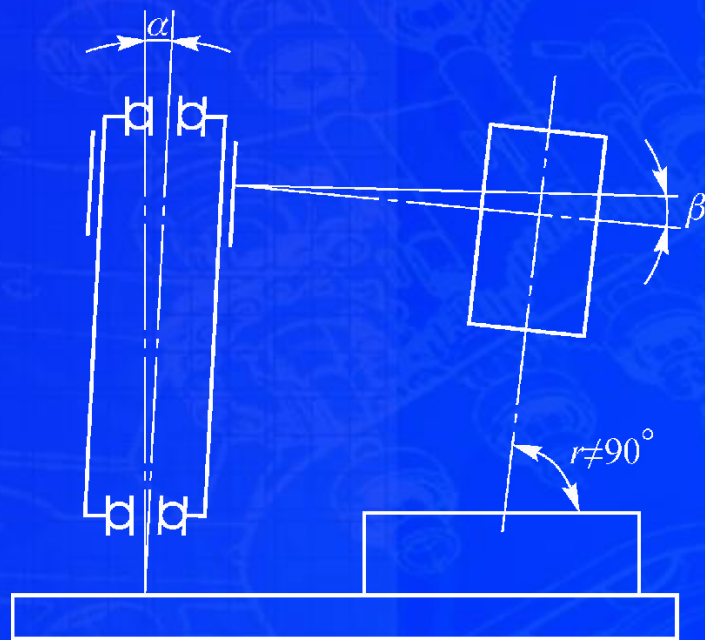
7.1.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响

4) 传动力（或拨动力）引起的加工误差

采用双顶尖拨盘卡箍装夹工件在车床或磨床上加工时，单爪拨盘传动力不断改变方向，使切削力随之变化，从而产生加工误差。

5) 机床部件自重引起的加工误差

例如，摇臂钻床自重导致主轴倾斜。由于摇臂和其上主轴部件的重量，将引起机床有关部件变形，使主轴回转轴线与工作台不垂直，造成钻孔轴线倾斜。



摇臂钻床自重导致主轴倾斜

7.1 机械加工精度

7.1.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响

2.减小工艺系统受力变形的途径

(1) 提高接触刚度。提高接触刚度常用的方法，一个是改善工艺系统主要零部件接触表面的配合质量，另一个是预加载荷。

(2) 提高工件刚度，减小受力变形。工件本身刚度不足或工件各个部位结构不均匀而产生变形将引起加工误差，解决办法是缩小切削力作用点到工件支承面之间的距离，以增大工件加工时的刚度。

(3) 提高机床零部件刚度，减小受力变形。可以采用一些辅助装置提高机床刚度。

(4) 合理装夹工件，减小夹紧变形。

7.1 机械加工精度

7.1.4 工艺系统热变形对加工精度的影响

3.减少工艺系统热变形的措施

从结构上

- ☆注意结构的对称性
- ☆合理安排支承的位置
- ☆均衡机床零部件的温度
- ☆隔热和减少发热
- ☆强制冷却以控制温升

从工艺上

- ☆精加工前，应当让机床空转一段时间，达到热平衡后再加工
- ☆在安排机床的区域内应尽量保持稳定的环境温度，精密机床不允许阳光直接照射
- ☆在加工大型精密零件时，不允许中途停车，应连续加工完毕
- ☆对于精密机床应采取恒温措施

7.1 机械加工精度

7.1.5 残余应力对加工精度的影响

内应力是无外力作用时物体内部存在的应力。引起工件内部应力的因素去除以后，工件内部仍存在应力，这种内部应力称为残余应力。

残余应力产生的原因包括冷态塑性变形、热态塑性变形和金相组织变化。在毛坯的制造过程中、切削过程中和冷较直中均会产生残余应力。

减小或消除残余应力的措施如下：

- (1) 合理设计零件结构，尽量减少尺寸差异，以减少在毛坯制造阶段的残余应力。
- (2) 采取时效处理。

7.1 机械加工精度

7.1.6 保证加工精度的工艺措施

- (1) 直接消除或减小加工误差。查明产生加工误差的主要原因以后，设法直接消除或减小。
- (2) 误差补偿法。人为制造一种新的误差去抵消原始误差。
- (3) 转移误差法。把误差转移到不影响加工精度的部件或方向上的方法称为转移误差法。
- (4) 就地加工法。就地加工法也称为自身加工修配法。
- (5) 误差抵消法。利用误差本身的规律性，部分或全部抵消所造成的加工误差。
- (6) 误差均化法。利用有密切联系的表面进行互检互研，使加工误差得到均化。
- (7) 控制误差法。在现代机械加工中采用自动跟踪测量、自动补偿，直至达到规定的尺寸公差值。

7.2 机械加工表面质量



返回

7.2.1 表面质量的基本概念

机械加工表面质量又称为表面完整性，通常应包括表面几何形状特征和表面物理机械性能两个方面的内容。

1.表面几何形状特征

表面几何形状特征主要由表面粗糙度、表面波度、表面加工纹理和伤痕组成。

2.表面物理机械性能

在切削加工中，工件由于受到切削力和切削热的作用，使表面层金属的物理机械性能产生变化，最主要的变化是表面层冷作硬化、金相组织的变化和残余应力的产生。

7.2 机械加工表面质量

7.2.2 表面质量对零件使用性能的影响

1.对零件耐磨性的影响

表面粗糙度大的表面在相互接触时只是少数微观凸峰相接触，实际接触面要比理论接触面小得多，接触应力大。

2.对零件疲劳强度的影响

粗糙的表面在交变载荷作用下，表面粗糙度波谷处容易引起应力集中，产生疲劳裂纹。

3.对零件配合性质的影响

无论哪一类配合，粗糙的表面都会影响配合性质的可靠性和稳定性。

4.对零件表面耐腐蚀的影响

粗糙表面的凹谷易储存腐蚀介质，特别是在表面裂纹中。

5.对零件其他性能的影响

除以上所述影响外，表面质量对零件的使用性能还有一些其他影响。例如，降低液压缸配件的表面粗糙度可以减少泄漏，提高密封性能等。

7.2 机械加工表面质量

7.2.3 影响表面质量的因素

1.影响表面粗糙度的因素

1) 刀具切削加工的影响

切削加工后的表面粗糙度是由刀具切削刃相对工件运动时，在已加工表面上遗留下来的残留切削层形成的。残留切削层的高度值越大，表面越粗糙。影响切削加工后表面粗糙度的因素包括刀具几何参数、切削用量、工件材料性质、工艺系统刚度及冷却液性能等。

2) 磨削加工的影响

影响磨削加工后表面粗糙度的因素包括砂轮工作表面的几何形态和磨削用量。

7.2 机械加工表面质量

7.2.4 控制表面质量的工艺途径

提高表面质量的工艺途径大致可以分为两类：一类是寻求各工艺参数的优化组合，以减小表面粗糙度，该途径的效率低、成本高；另一类是着重改善工件表面的物理力学性能，以提高其表面质量。

1. 精加工提高表面质量

机械加工时，采用超精密加工、珩磨、研磨等方法作为最终工序加工可以提高其表面质量。

2. 表面强化提高表面质量

表面机械强化工艺简单、成本低，在生产中应用十分广泛，用得最多的是喷丸强化和滚压加工。

感谢您的关注！

www.huatengedu.com