

10. 机械零件选材及其工艺方法的选择

学习目标

- 1、机械零件的失效形式与失效的原因。
- 2、选用材料的一般原则及零件主要性能指标的确定。
- 3、零件热处理的技术条件、热处理工序位置的确定及零件加工工艺路线。
- 4、典型零件的选材、热处理及工艺路线安排。

§ 10.1 机械零件的失效形式和选材原则

10.1.1 机械零件的失效形式

任何机器零件或结构件都具有一定的功能，如在载荷，温度，介质等作用下保持一定的几何形状和尺寸，实现规定的机械运动，传递力和能等。如果零件在使用过程中，由于尺寸、形状或材料的组织与性能发生变化而失去原设计要求的效能，即为失效。

一般机器零件常见的失效形式有以下三种：

- ❖ 1.断裂。断裂是材料最严重的失效形式，特别是在没有明显塑性变形的情况下突然发生的脆性断裂，往往会造成灾难性事故。
- ❖ 2.表面损伤。机械零件磨损过量后，工作就会恶化，甚至不能正常工作而报废。磨损不仅消耗材料，损坏机器，而且耗费大量能源。

- ❖ **3、过量变形。**不论哪种过量变形，都会造成零件(或工具)尺寸和形状的改变，影响它们的正确使用位置，破坏零件或部件间相互配合的关系，使机器不能正常工作，甚至造成事故。
- ❖ 引起零件失效的原因很多，涉及到零件的结构设计、材料的选择与使用、加工制造、装配及维护保养等方面。

❖ 10.1.2 选材的基本原则

- ❖ 要做到合理选材，必须进行全面的分析及综合考虑，一般是从其使用性能、工艺性能、经济性等几个方面考虑。
- ❖ 1、材料的选用应满足零件的使用性能要求
- ❖ 在选材时，首先要正确地判断零件要求哪方面的性能，然后再确定主要的性能指标。具体方法如下：

❖ 第一：分析零件的工作条件，零件的工作环境，如介质、工作温度等；零件的特殊性能要求，如电性能、磁性能、热性能等。

❖ 第二：进行零件失效分析 零件最关键的性能指标通常要根据零件的失效形式来确定，因此，要分析同类零件的失效形式，其主要使用性能应是弹性极限、疲劳极限，所以应以弹性极限和疲劳强度为主要指标来设计、制造弹簧。

❖ 第三：确定主要的性能指标 在零件工作条件分析、失效形式分析的基础上，确定零件的主要使用性能指标，作为零件选材的基本出发点。

❖ 表10-1 几种典型零件的工作条件及主要性能指标

表10-1 几种典型零件的工作条件及主要性能指标

零件名称	工作条件	关键性能指标
重要螺栓	交变拉应力	σ_5 、 σ_{-1} 、 HBS
重要传动齿轮	交变弯曲应力、 交变接触压应力、 冲击载荷、齿面 受摩擦	σ_5 、 σ_{-1} 、 HRC、接触疲劳强度
曲轴、轴类	交变弯曲应力、 扭曲压应力、冲 击载荷、颈部摩 擦	σ_b 、 σ_{-1} 、 HRC
弹簧	交变应力、振动	σ_e 、 σ_5/σ_b 、 σ_{-1} 、
滚动轴承	点接触下的交变 应力、滚动摩擦	σ_b 、 σ_{-1} 、 HRC

- ❖ 通常的机械零件大多在弹性范围内工作，故常以屈服强度作为主要性能指标，即以屈服强度为强度计算的原始设计数据；
- ❖ 在设计计算中着重考虑的是材料的强度，并不采用伸长率、断面收缩率等塑性指标。
- ❖ 在确定材料的性能指标后，可在有关设计手册中查阅材料的有关数据，选择几种性能满足要求的材料。

- ❖ **2、材料的工艺性能应满足加工要求**
- ❖ 任何零件都是由所选材料经过加工制造出来的，因此材料工艺性能的好坏也是选材时必须考虑的重要问题。
- ❖ 并不是要求某一材料具有所有的工艺性能，而是具有所要求的工艺性能就足够了。
- ❖ 对于尺寸较大，形状较复杂的零件，就要求材料的具有良好的铸造性能或焊接性能。

- ❖ 当零件用冷拔工艺制造时，应考虑材料的塑性，并考虑变形后强化对材料的力学性能的影响。
- ❖ 对于需要切削加工的零件，应考虑材料的切削加工性能。
- ❖ 材料的工艺性能在某些情况下甚至成为选择材料的主导因素。

❖ 3、选材时应充分考虑经济性能

❖ 选材时应注意降低零件的总成本。据资料的统计，在一般的工业部门中，材料的价格要占产品价格的30%-70%。因此，在保证使用性能的前提下，应尽可能选用价廉、货源充足、加工方便、总成本低的材料，以取得最大的经济效益，提高产品在市场上的竞争力。

- ❖ 在选用材料时，还应立足于本地或国内的资源，并考虑国内的生产和供应情况。对于同一企业来说，所选用的材料种类、规格应尽量少而集中，以便于采购和管理，减少不必要的附加费用。
- ❖ 总之，作为一个工程技术人员，在选用材料时，必须了解我国的资源和生产情况，从实际出发，全面考虑材料的使用性能、工艺性能和经济等方面的因素，以保证产品性能优良、成本低廉和经济效益最佳。

⑩ 10.2 零件成型工艺选择的一般原则

零件成型工艺选择是否合理，不仅影响每个零件乃至整部机械的制造质量和使用性能，而且对零件的制造工艺过程，生产周期和成本也有很大的影响。

表10.2列出了常用成型毛坯的生产方法及有关内容的比较，可供成型时参考。

表10-2 常用毛坯的成型方法及其有关内容比较

比较内容					
成形特点	液态成形	固态下塑性变形		借助金属原子间的扩散和结合	固态下切削
对原材料工艺性能要求	流动性好,收缩率小	塑性好,变形抗力小		强度好,塑性好,液态下化学稳定性好	
适用材料	铸铁,铸钢,有色金属	中碳钢,合金结构钢	低碳钢和有色金属薄板	低碳钢和低合金结构钢,铸铁,有色金属	碳钢,合金钢,有色金属
适宜的形状	形状不受限,可相当复杂,尤其是内腔形状	自由锻件简单,模锻件可较复杂	可较复杂	形状不受限	简单,一般为圆形或平面
适宜的尺寸与重量	砂型铸造不受限	自由锻不受限,模锻件<150kg	不受限	不受限	中、小型
毛坯的组织 和性能	砂型铸造件晶粒粗大、疏松、缺陷多、杂质排列无方向性。铸铁件力学性能差,耐磨性和减振性好;铸钢件力学性能较好	晶粒细小、较均匀、致密,可利用流线改善性能,力学性能好	组织细密,可产生纤维组织。利用冷变形强化,可提高强度和硬度,结构刚性好	焊缝区为铸态组织,熔合区及过热区有粗大晶粒,内应力大;接头力学性能达到或接近母材	取决于型材的原始组织和性能
毛坯精度和 表面质量	砂型铸造件精度低和表面粗糙(特种铸造较高)	自由锻件精度较低,表面较粗糙;模锻件精度中等,表面质量较好	精度高,表面质量好	精度较低,接头处表面粗糙	取决于切削方法
材料利用率	高	自由锻件低,模锻件中等	较高	较高	较高
生产成本	低	自由锻件较高,模锻件较低	低	中	较低
生产周期	砂型铸造较短	自由锻短,模锻长	长	短	短
生产率	砂型铸造低	自由锻低,模锻较高	高	中、低	中、低
适宜的生产 批量	单件和成批(砂型铸造)	自由锻单件小批,模锻成批、大量	大批量	单件、成批	单件、成批
适用范围	铸铁件用于受力不大,或承压为主的零件,或要求减振、耐磨的零件;铸钢件用于承受重载而形状复杂的零件,如床身、立柱、箱体、支架和阀体等	用于承受重载、动载或复杂载荷的重要零件,如主轴、传动轴、杠杆和曲轴等	用于板料成形的零件	用于制造金属结构件,或组合件和零件的修补	一般中、小型简单件

选择毛坯成型工艺时必须考虑以下原则：

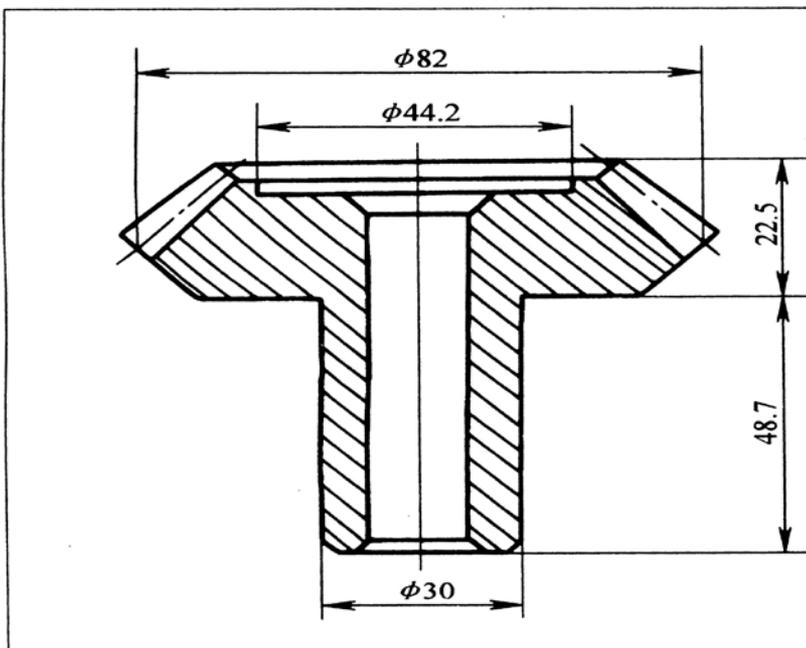
- ❖ **1. 保证零件的使用要求**
- ❖ 成型后的毛坯制成零件后，应满足其使用要求。有时，即使同一类零件，由于使用要求不同，从选择材料到选择成型方法和加工方法可以完全不同。因此，在确定毛坯类别时，必须首先考虑工作条件下零件的使用要求。
- ❖ **2. 降低制造成本，满足经济性的要求**
- ❖ 在选择毛坯的类别和具体的制造方法时，通常是在保证零件使用要求的前提下，把几个可供选择的方案从经济性上进行分析、比较，从中选择成本低廉的方案。

❖ 3. 考虑实际生产条件

- ❖ 应首先分析本厂的设备条件和技术水平能否满足毛坯制造方案的要求。如不能满足要求，则应考虑某些零件的毛坯可否通过外协或外购来解决。
- ❖ 上述三条原则是相互联系的前提下，力求做到质量好、成本低和制造周期短。

❖ 10.3 零件热处理的技术条件

- ❖ 热处理技术条件的内容包括：零件最终的热处理方法、热处理后应达到的力学性能指标等。
- ❖ 在图样上标注热处理技术条件时，可用文字对热处理条件加以简要说明，也可用国家标准(GB/T12693--1990)规定的热处理工艺分类及代号来表示。热处理技术条件一般标注在零件图标题栏的上方的技术要求中。
- ❖ 图 10-1 为热处理技术条件在零件图上的标注示例。

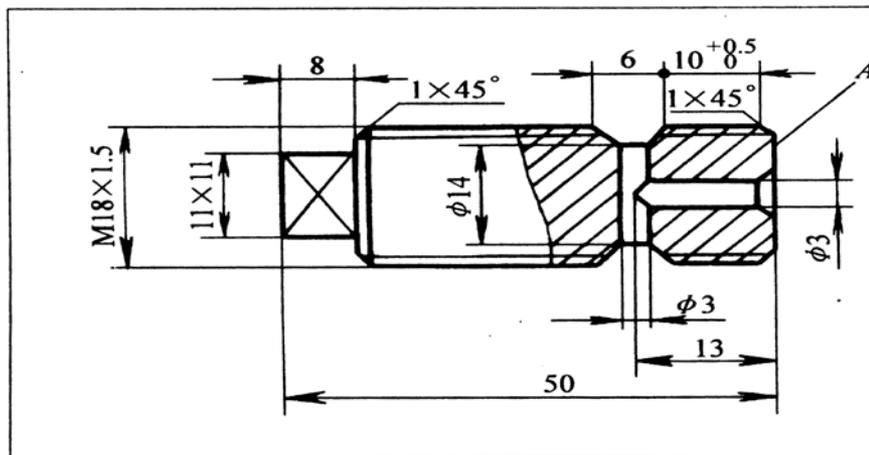


技术要求

1. 齿部渗碳深度 $0.85 \sim 1.1\text{mm}$
2. 表面硬度 $\text{HRC} \geq 60$ ，心部硬度 $\text{HRC} = 31 \sim 40$

齿轮	材料	12CrNiV

a)



技术要求

1. 调质后 $270 \sim 300\text{HBS}$
2. A 表面高频淬火，回火后 $45 \sim 50\text{HRC}$ ，深度 $1 \sim 2\text{mm}$

调整螺钉	材料	40Cr

b)

❖ 表10-3 热处理工艺分类及代号

工艺	代号	工艺类型	代号	名称	代号	加热方法	代号
热处理	5	整体热处理	1	退火	1	加热炉	1
				正火	2		
				淬火	3		
				淬火、回火	4		
				调质	5		
				稳定化处理	6		
				固溶处理	7		
				固溶处理与时效	8		
		表面热处理	2	表面淬火、回火	1	电阻加热	4
				物理气相沉积	2	激光加热	5
				化学气相沉积	3		
				等离子化学气相沉积	4		
热处理	5	化学热处理	3	渗碳	1	电子束加热	6
				碳氮共渗	2	等离子加热	7
				渗氮	3		
				氮碳共渗	4	其他	8
				渗其他金属	5		
				渗金属	6		
				多元素共渗	7		
				溶渗	8		

⑩ 10.4 典型零件的选材及工艺分析

⑩ 10.4.1 轴杆类零件

- ❖ 轴类零件是回转体零件，其长度远大于直径，常见的有光轴、阶梯轴、凸轮轴和曲轴等。
- ❖ 1. 工作条件 轴类零件在机器中起支承回转零件并传递运动和扭矩的作用。所有作回转运动的轴所受应力都是对称循环变化的，即在交变应力状态下工作。
- ❖ 轴在花键、轴颈等部位和与其配合零件(如轮上有花键孔或滑动轴承)之间有摩擦磨损。此外，轴还会受到一定程度的过载和冲击。

- ❖ **2. 主要失效形式** 由于受力复杂，而且轴的尺寸、结构和载荷差别很大，因此，轴的失效较多。主要存在有以下几种：① 断裂，大多是疲劳断裂。② 轴的相对运动表面的过度磨损。③ 发生过量扭转或弯曲变形(包括弹性的和塑性的)。④ 有时还可能发生腐蚀失效。
- ❖ **3. 使用性能要求** 为满足工作条件的要求，具有足够抵抗失效的能力，轴类零件的材料应具备如下性能要求：

- ❖ (1) 具有高的强度，足够的刚度及良好的韧性，以防止断裂及过量变形。
- ❖ (2) 具有较高的疲劳强度，防止疲劳断裂。
- ❖ (3) 在相对运动的摩擦部位，如轴颈、花键等处，应具有较高的硬度和耐磨性。

❖ 4. 选材及热处理

- ❖ (1) 轻载、低速，不重要的轴，可选用Q235、Q255、Q275等碳素结构钢。
- ❖ (2) 受中等载荷而且精度要求一般的轴类零件，常用优质碳素结构钢，常选45钢。
- ❖ (3) 受较大载荷或要求精度高的轴以及处于强烈摩擦或高、低温等恶劣条件下工作的轴，应选用合金钢。常用20Cr、40MnB、40Cr等。

- ❖ 5. 典型轴类零件的选材、热处理及工序安排
- ❖ (1) 机床主轴：机床主轴承受中等载荷作用、中等转速并承受一定冲击。一般选用45钢制造。载荷较大时，选用40Cr钢制造。
- ❖ 机床主轴的工艺路线为：下料锻造正火粗切削加工调质半精切削加工局部表面淬火、低温回火粗磨精磨。
- ❖ 有些机床主轴如万能铣床主轴，可用球墨铸铁代替45钢来制造。对于要求高精度、高稳定性及高耐磨性的主轴，如镗床主轴，往往用38CrMoAlA钢制造，经调质处理后再渗氮

❖ (2) 内燃机曲轴：曲轴是内燃机中形状复杂而又非常重要的零件之一，通常根据内燃机转速不同选用不同的材料低速内燃机曲轴用正火的45钢或球墨铸铁制造；中速内燃机曲轴选用调质45钢或球墨铸铁、调质中碳低合金钢，如40Cr、45Mn2等钢制造；高速内燃机曲轴选用高强度合金钢35CrMo、42GrMo制造。

⑩ 10.4.2 齿轮类零件

- ❖ 齿轮是各类机械、仪表中应用最广的传动零件。
- ❖ 1. 工作条件 齿轮工作的关键部位是齿根与齿面。
- ❖ 2. 主要失效形式
 - ❖ (1) 轮齿折断;
 - ❖ (2) 齿面点蚀;
 - ❖ (3) 齿面磨损;
 - ❖ (4) 齿面塑性变形。

- ❖ **3. 主要性能要求** 由于齿轮受力和损坏形式的错综复杂，为保证齿轮的正常运转，防止早期失效，对齿轮材料主要有如下性能要求：
 - ❖ (1) 齿面有高的硬度和耐磨性。
 - ❖ (2) 齿面具有高的接触疲劳强度和齿根具有高的弯曲疲劳强度。
 - ❖ (3) 轮齿的心部要有足够的强度和韧性。

❖ 4. 选材及热处理

❖ (1) 钢材齿轮：用钢材制造齿轮有型材和锻件两种毛坯。

❖ 1) 轻载、低速或中速、冲击力小、精度较低的一般齿轮，选用中碳钢如Q255、45、50Mn等钢制造，常用于机械中一些不重要的齿轮。



- ❖ 2) 中载、中速、承受一定冲击载荷、运动较为平稳的齿轮，选用中碳钢或合金钢，如45、50Mn、40Cr、42SiMn等钢，机床中绝大多数齿轮就是这种类型的齿轮。
- ❖ 3) 重载、高速或中速，且受较大冲击载荷的齿轮，选用低碳合金渗碳钢或碳氮共渗钢，如20Cr、20CrMnTi、20CrNi、18Cr2Ni4WA等钢。它适用于工作条件较为恶劣的汽车、拖拉机的变速箱和后桥上的齿轮。

- ❖ 4) 精密传动齿轮或磨齿有困难的硬齿面齿轮(如齿圈), 主要要求是精度高, 热处理变形小, 宜采用氮化钢, 如35CrMo、38CrMoAlA等钢。
- ❖ (2) 铸钢齿轮: 常用的碳素铸钢为ZG35、ZG45、ZG55等钢, 载荷较大的采用合金铸钢, 如ZG40Cr、ZG35CrMo、ZG42MnSi等钢。
- ❖ (3) 铸铁齿轮: 用于制造齿轮的灰铸铁有HT200、HT250、HT300等。在闭式齿轮中, 有用球墨铸铁(QT600—3、QT450—10等)代替铸钢的趋势。

- ❖ (4) 非铁金属材料齿轮：在仪表中或接触腐蚀介质的轻载齿轮，常用的有黄铜、铝青铜、硅青铜、锡青铜。硬铝和超硬铝可制作质量小的齿轮。
- ❖ (5) 工程塑料齿轮：在仪表、小型机械中的轻载、无润滑条件下工作的小齿轮，可以用工程塑料制造，常用的有尼龙、聚碳酸酯、夹布层压热固性树脂等。

- ❖ 5. 典型齿轮的选材、热处理及工序安排
- ❖ (1) 机床齿轮：机床齿轮工作平稳，无强烈冲击，中等转速，受载不大，对齿轮心部强度和韧性的要求不高，一般选用40钢或45钢制造。对于一部分性能要求较高的齿轮，可用中碳低合金钢如40Cr、40MnB等钢制造，齿面硬度达到58HRC。

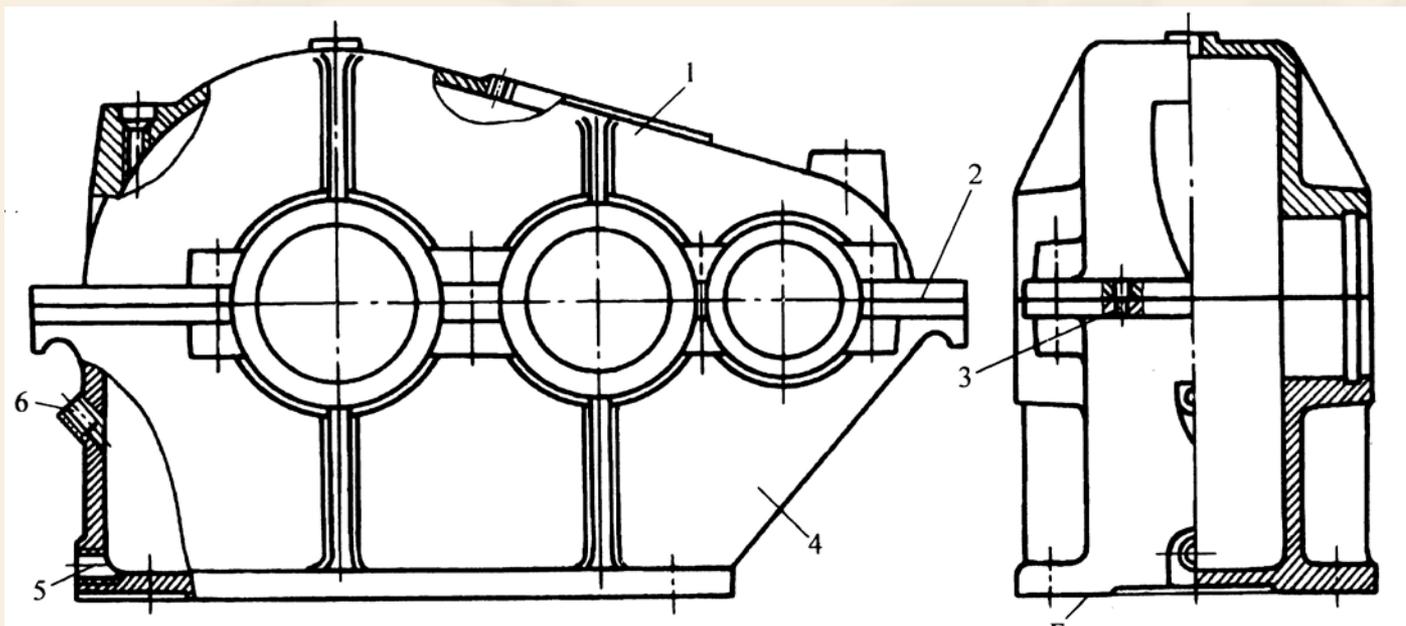
- ❖ 5. 典型齿轮的选材、热处理及工序安排
- ❖ (1) 机床齿轮：机床齿轮工作平稳，无强烈冲击，中等转速，受载不大，对齿轮心部强度和韧性的要求不高，一般选用**40钢**或**45钢**制造。经正火或调质后在经高频感应加热表面淬火后，齿面硬度可达**52HRC**左右，齿心硬度为**220—250HBS**，完全可满足性能要求。对于一部分性能要求较高的齿轮，可用中碳低合金钢如**40Cr**、**40MnB**等钢制造，齿面硬度达到**58HRC**，心部强度和韧性也有所提高。毛坯采用锻造为宜。

- ❖ 机床齿轮的加工工艺路线为：下料锻造正火粗切削加工调质半精加工高频感应表面淬火、低温回火精磨。
- ❖ (2) 汽车、拖拉机齿轮：选用合金渗碳钢如20CrMnTi、20CrMnMo、20MnVB等钢较适宜。这类钢经正火处理后再渗碳淬火处理，表面硬度可达58—62HRC，心部硬度可达35—45HRC。
- ❖ 汽车、拖拉机齿轮的加工工艺路线为：下料锻造正火粗、半精切削加工渗碳、淬火、低温回火喷丸精磨最终检验。

10 10.4.3 箱体类零件

- ❖ 1. 结构和工作条件 箱体类零件一般结构复杂，有不规则的外形和内腔，且壁厚不均。这类零件重量从几千克至数十吨，工作条件也相差很大。
- ❖ 2. 使用要求和材料的选用 箱体零件一般受力不大，但要求有良好的刚度和密封性。通常都以铸件为毛坯，且以铸造性能良好、价格低廉，并有良好耐压、耐磨和减振性能的铸铁为主。

- ❖ **3. 时效或热处理** 如选用铸钢件，为了消除粗晶粒组织、偏析及铸造应力，对铸钢件应进行完全退火或正火；对铸铁件一般要进行应力退火或时效处理；对铝合金铸件，应根据成分不同，进行退火或淬火时效处理。
- ❖ **4. 典型零件的加工**
- ❖ 如图10-2所示为中等尺寸的减速箱体。由图可以看出，其上有三对精度要求较高的轴承孔，形状复杂。该箱体材料选用HT250。



- ❖ 1、盖 2、对合面 3、定位销孔 4、底座 5、出油孔 6、油面指示孔
- ❖ 该箱体的工艺路线为：铸造毛坯去应力退火划线切削加工。其中去应力退火是为了消除铸造内应力，稳定尺寸，减少箱体在加工和使用过程的变形。

❖ 图10-2 减速器箱体