



第二章

金属材料加工基础

本章主要内容

2.1 铸造

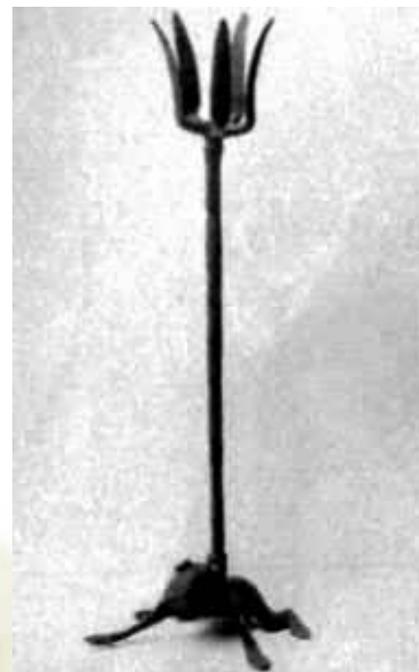
- 砂型铸造
- 特种铸造

2.2 金属压力加工

- 轧制
- 挤压
- 拉拔
- 锻造
- 冲压

2.1 铸造

- 1、定义：铸造生产是熔炼金属、制造铸型并将熔融金属浇入铸型、凝固后获得成形毛坯或零件的一种生产方法。



2、铸造的优点:

- ❧ 液态成型，可铸造任何形状的铸件
- ❧ 铸件的形状、尺寸与零件接近，可节省金属材料 and 减少切削加工工作量
- ❧ 适应性广，大多数金属都可用铸造方法生产铸件
- ❧ 设备投资少，铸件成本相对较低

3、铸造的缺点：

❧ 生产工序多

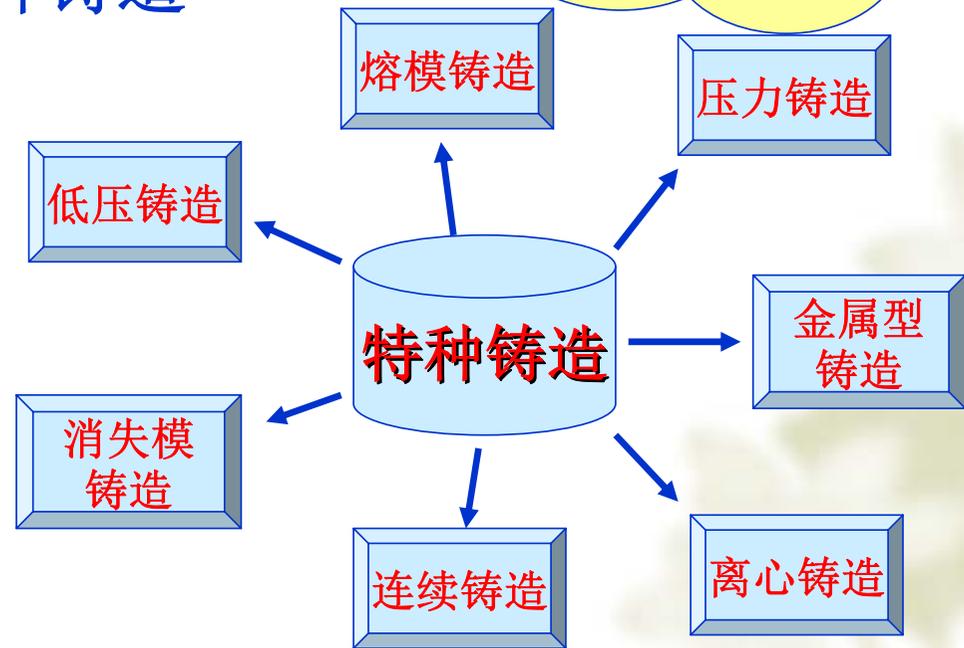
❧ 铸件质量不稳定，废品率高

4、铸造生产方法

➤ 砂型铸造

➤ 特种铸造

- 最主要的铸造方法，总产量80%以上
- 工序较多，铸造缺陷，废品率高



七种常见的特种铸造方法

砂型铸造

1. 定义

用型砂制成铸型(砂型)，然后注满液体金属，并冷却成形的方法。

2. 基本生产过程

3. 特点



2. 基本生产过程

(1) 技术准备

(2) 生产准备

(3) 工艺过程

2. 基本生产过程

(1) 技术准备

浇注位置选择
分型面选择
浇注系统设计
补缩系统设计
主要工艺参数

(2) 生产准备

(3) 工艺过程

① 确定浇注位置

- ❖ 质量要求较高
 - ❖ 重要的加工表面
 - ❖ 大平面
 - ❖ 薄壁部分
- } 下部或侧面
- ❖ 易产生缩孔的部分
 - ❖ 尽量减少芯子的数量
- 上部或侧面

②分型面的选择

- ❖ 便于起模，简化造型工艺

 - 放在铸件最大截面处；

 - 采用平直分型面，避免曲面分型；

 - 减少分型面的数目

- ❖ 尽量使铸件的全部或大部置于同一砂箱内，以免产生错箱、毛刺等

③ 浇注系统设计

❧ 浇注系统：金属液填充型腔而开设于铸型中的一系列通道。

❧ 组成部分

❖ 浇口杯

❖ 直浇道

❖ 横浇道

❖ 内浇道



❧ 冒口

- ❖ **定义：**金属液最后凝固的地方极易形成缩孔，为防止产生缩孔，通常在这些部位上方型腔中预制出与这些部位相通的较大的**储液空腔**，该空腔称为冒口
- ❖ **作用：**补缩、排气、集渣、观察金属液等。

❧冷铁

❖作用：为了加速铸件**厚壁**部分的冷却，使其与邻近部位同时凝固，避免出现缩孔、缩松等缺陷。

❖种类：

内冷铁

外冷铁

缩孔可能出现的位置

凝固等温线法

内切圆法

计算机凝固数值模拟法

⑤ 确定主要工艺参数

- **机械加工余量**：为切削加工而加大的尺寸；
孔、槽、台阶等特别是弯曲孔
- **铸造收缩率**：铸件固态收缩时尺寸减少的百分率
- **拔模斜度**：为了从砂箱中起模或从芯盒中取芯方便，垂直于分型面的侧壁在制造模型时，必须要做出一定的斜度
- **铸造圆角**：相交壁的交角做成圆弧过渡，防止在尖角处产生冲砂而掉角或因应力集中产生裂纹

2. 基本生产过程

(1) 技术准备

浇注位置选择
分型面选择
浇注系统设计
补缩系统设计
主要工艺参数

(2) 生产准备

模样和芯盒的设计
型砂的制备

(3) 工艺过程

(2) 生产准备

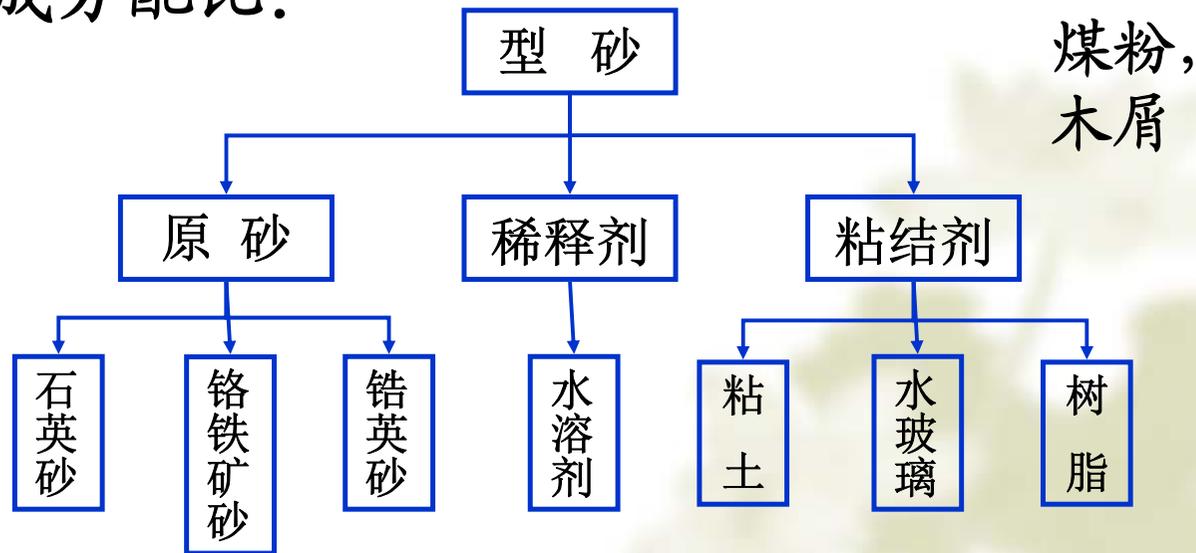
➤ 模样和芯盒的设计

- 模样：为获得与铸件**形状和尺寸**相适应的铸型空腔而设计的与铸件形状和尺寸相适应的模子。
- 芯盒：用于制造型芯的工艺装备。
- 型芯：用来形成**有孔或中空**铸件的内腔
- 型芯头：合箱时起固定和放置和支撑作用

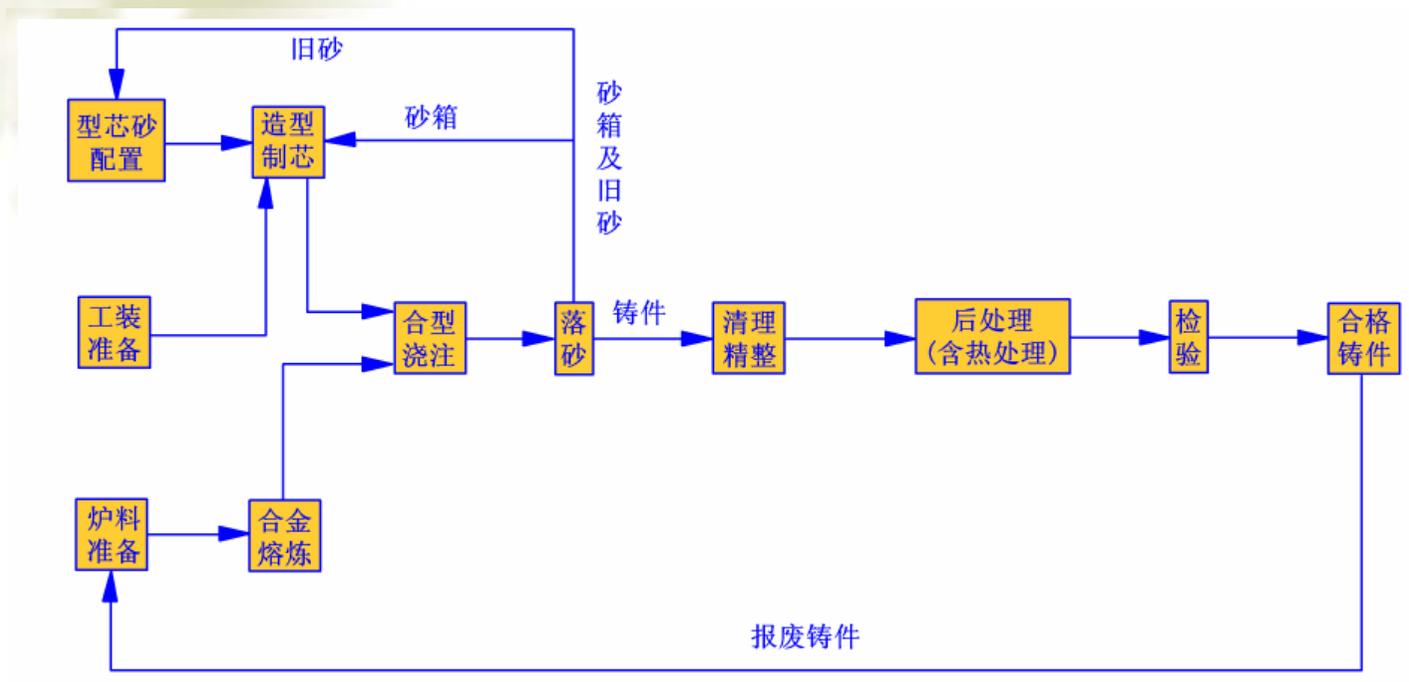
注意：考虑收缩量的问题

➤ 型（芯）砂的制备

- 技术要求：应具有一定的强度、透气性、溃散性、耐火度等。
- 成分配比：



(3) 工艺过程



(3) 工艺过程

铸型

- 造型和造芯
 - 分类：手工造型和机械造型
 - 工序：填砂、紧实、起模
- 合箱：把砂型和砂芯按要求组合在一起
- 浇注
- 落砂和清理

2. 基本生产过程

- (1) 技术准备
 - 浇注位置选择
 - 分型面选择
 - 浇注系统设计
 - 补缩系统设计
 - 主要工艺参数
- (2) 生产准备
 - 模样和芯盒的设计
 - 型砂的制备
- (3) 工艺过程
 - 造型和造芯
 - 合箱
 - 浇注
 - 落砂和清理

3、特点

- ▶ 不受铸件材质、尺寸和生产批量的限制;
- ▶ 设备简单、投资少，价格低廉，应用广泛;
- ▶ 属于一次性铸造成形，造型工作量大;
- ▶ 铸件精度和表面质量差;
- ▶ 缺陷多，废品率高，机械性能较差。

(2) 特种铸造

❖ 金属型铸造

❖ 熔模铸造

❖ 消失模铸造

制作模型的材料

❖ 压力铸造

❖ 低压铸造

❖ 离心铸造

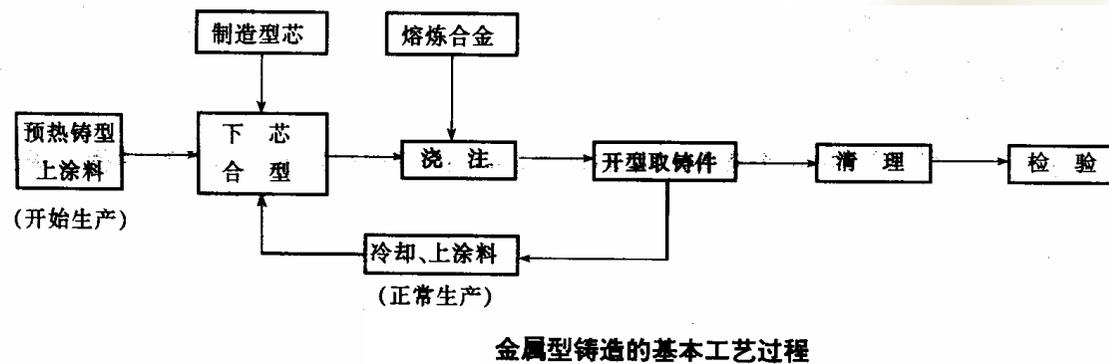
❖ 连续铸造

外力作用

特种铸造

1、金属型铸造

(1) 定义：利用**重力**将液态金属浇入**金属铸型**中获得铸件的一种铸造方法。工艺过程与砂型铸造类似。



(2) 工艺过程

❖ 加强金属型的排气

❖ 预热金属型

❖ 喷刷涂料：耐火涂料

保护铸型

调节各部分冷却速度

蓄气和排气能力

❖ 合理的浇注温度

❖ 适当的开型时间

2、熔模铸造

失蜡铸造，
精密铸造

(1) **定义**：利用**易熔材料**（如蜡）制成模型，并在模型表面粘结一定厚度的耐火材料，然后将模型熔失而使金属液充满型腔的一种铸造方法

(2) 工艺过程

熔模制作

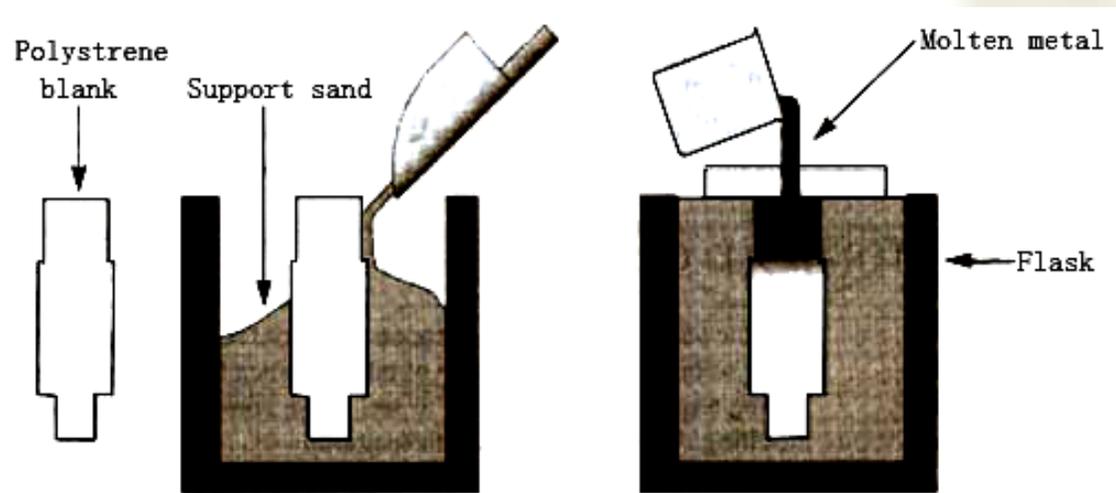
- ❧ 蜡模制作: 压型制造-蜡模制造-组装蜡模
- ❧ 制壳: 挂涂料—撒砂—硬化
- ❧ 脱蜡
- ❧ 焙烧: 去除挥发物和水分, 提高强度
- ❧ 浇注
- ❧ 清理

(3) 特点

- ❧ 铸件尺寸精确、表面光洁，不存在起模，分型面等问题
- ❧ 可铸造出形状复杂的铸件
- ❧ 适于各种铸造合金，尤其是高熔点合金
- ❧ 材料昂贵、工艺过程复杂、工序繁多、生产周期长
- ❧ 难以实现全自动化和机械化

3、消失模铸造

(1) 定义：用**泡沫塑料聚苯乙烯**制成带有浇冒系统的模型，覆上涂料，用砂造型，**不需取模**，直接浇注的铸造生产方法。浇注时，高温金属液将模型气化使之消失，取代其位置，冷凝后获得铸件



(2) 特点

- ❖ 不起模，简化工艺一起模困难、形状复杂的铸件；
- ❖ 铸件形状不受任何限制，制造复杂的铸件和工艺品。
- ❖ 冒口可放置在任何位置对铸件进行补缩。铸件不易产生缩孔、疏松，致密度高。
- ❖ 环境危害；铸件增碳，降低表面质量。

4、压力铸造

(1) **定义**: 简称压铸, 将液态或半液态合金浇入压铸机的压室内, 使之在**高压和高速**下充填型腔, 并在高压下成形和结晶而获得铸件的一种铸造方法。

(2) 工艺过程

- ❧ 预热与喷涂料
- ❧ 闭合铸型，注入金属
- ❧ 压铸
- ❧ 取出铸件

5、低压铸造

- (1) 定义：液态金属在低气体压力下
($0.02 \sim 0.06\text{MPa}$) 从坩埚中自下而上地充
填型腔并凝固而获得铸件的铸造方法。

(2) 特点

- ❧适用于各种铸型, 充型压力和速度易于控制,
- ❧冲型平稳, 对铸型冲刷力小, 铸件组织致密, 机械性能较好
- ❧金属利用率高, 浇口设在下型底部, 不设冒口
- ❧充型能力强, 利于大型薄壁铸件的成型

6、离心铸造

1) **定义**: 将液态金属浇入高速旋转的铸型中, 使金属在**离心力**的作用下填充铸型并凝固成形的铸造方法。

离心铸造在离心铸造机上进行, 主要用于生产**圆筒形**铸件。

2) **种类**:

立式离心铸造—铸件上薄下厚

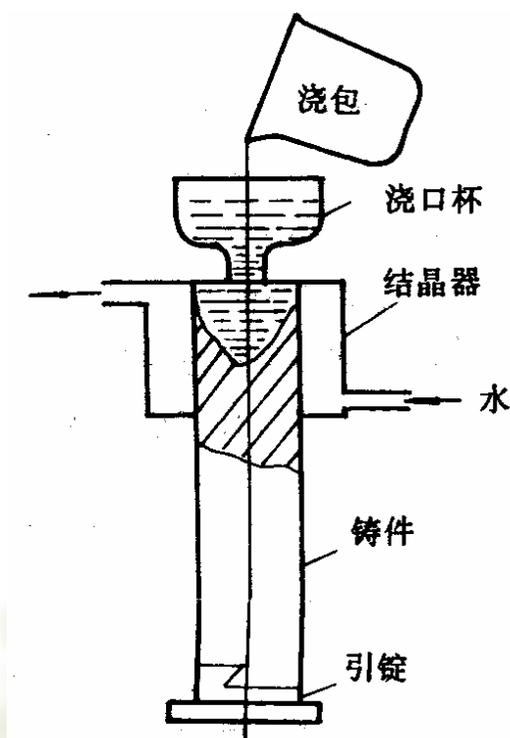
卧式离心铸造

3) 特点

- ❧ 离心力, 铸件组织致密, 力学性能好
- ❧ 不使用型芯即可获得中空圆柱形铸件
- ❧ 可提高金属的充型能力, 适用于流动性较差的金属
- ❧ 金属利用率高, 无需浇注系统和冒口
- ❧ 内腔为自由面, 精度难以控制
- ❧ 离心力, 易产生密度偏析

7、连续铸造

(1) 定义：将熔融金属液连续不断地浇入到结晶器中，凝固的铸件不断从结晶器的另一端被引出，从而获得任意长度的等截面铸件的铸造方法。



(2) 特点

- ❖ 金属的冷却速度快，组织致密，机械性能好；
- ❖ 不用造型，不需要浇注系统，简化了工艺，提高了生产效率

2.2 金属压力加工

一、定义

金属坯料在**外力**作用下产生**塑性变形**，从而获得一定形状、尺寸和力学性能的原材料、毛坯或零件的加工方法。

二、分类

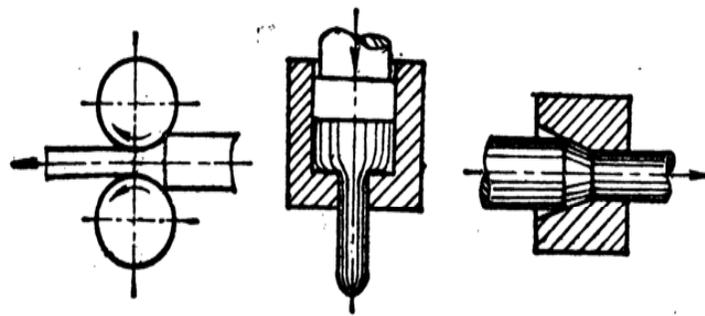
❖ 锻造

❖ 冲压

❖ 轧制

❖ 挤压

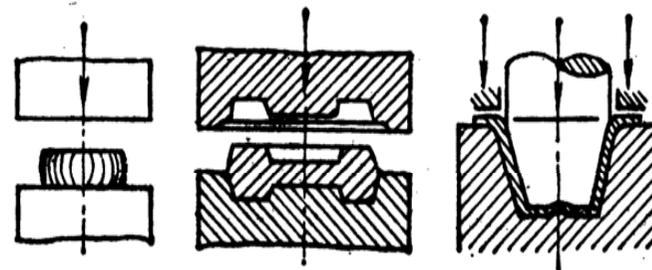
❖ 拉拔



(a) 轧制

(b) 挤压

(c) 拉丝



(d) 自由锻造

(e) 模型锻造

(f) 薄板冲压

锻造

- ❖ 锻造：将固态金属加热到再结晶温度以上，在压力作用下产生塑性变形，把坯料的某一部分体积转移到另一部分，从而获得一定形状、尺寸和内部质量的锻件的工艺方法。

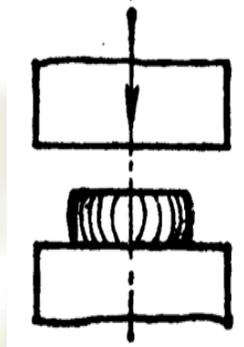
自由锻造

1.定义：借助锻压设备上下砧块的压力使坯料成形的压力加工方法。

2.自由锻设备

❧锻锤 { 空气锤 <100kg
蒸汽—空气锤 <1500kg

❧液压机 可生产300t



3、自由锻工序

- 辅助工序:

为使基本工序操作方便进行的预变形

- 基本工序:

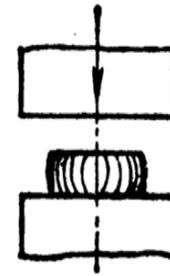
镦粗、拔长、冲孔、弯曲、错移、扩孔

- 修整工序:

用以减少表面缺陷而进行的工序

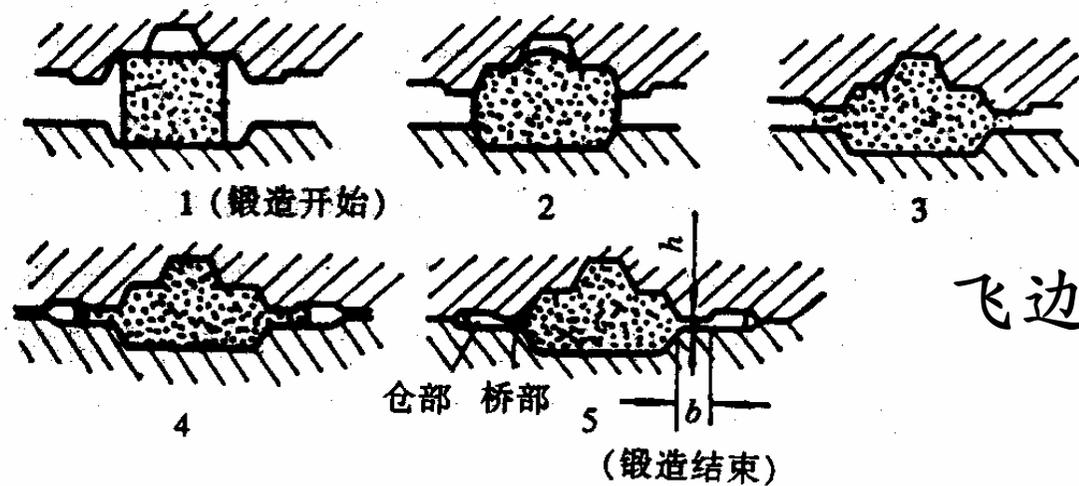
4. 自由锻造的特点:

- ❖ 改善组织结构，提高组织性能；
- ❖ 锻造设备简单；
- ❖ 自由锻件的质量范围较大，从1千克到上百吨。自由锻造在重型机械制造中占有重要的地位。
- ❖ 生产效率低，劳动强度大，对锻工的技术水平要求高，金属损耗大；
- ❖ 精度及复杂程度低，只适用于单件小批量生产



模型锻造

1. 定义：坯料加热后放在上下锻模的模膛内施加冲击力或压力，使坯料在模膛内产生塑性变形，从而获得与模膛形状相适应的锻件。



2. 工艺过程

1) 确定变形工步：依据锻件的形状和尺寸

2) 设计锻模及模膛

❖ 锻模：单膛锻模， 多膛锻模

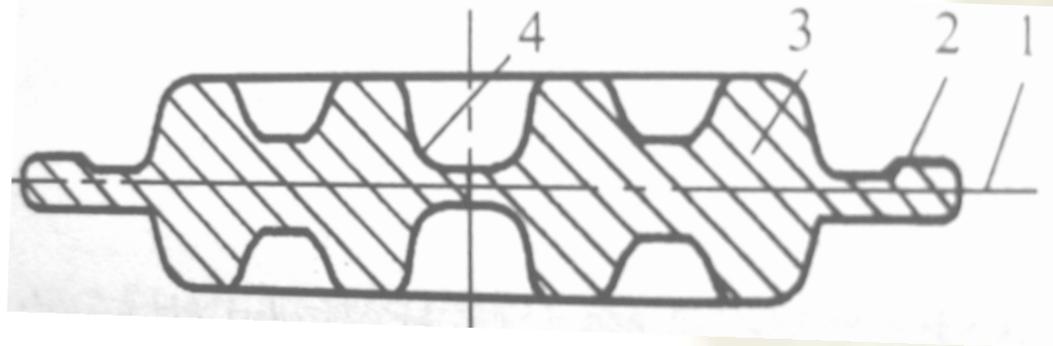
{ 模膛：形成锻件基本形状和尺寸的空腔

{ 飞边槽：{ 桥部：增加金属流动阻力，充满模膛
 { 仓部：容纳多余的金属

3) 锻后工序：切边、冲孔、校正、冲压等

2. 工艺过程

- 1) 确定变形工步：依据锻件的形状和尺寸
- 2) 设计锻模及模
- 3) 锻后工序：切边、冲孔、校正、冲压等



带飞边的模锻件

1-分模面； 2-飞边； 3-锻件； 4-冲孔连皮

3. 锻造设备

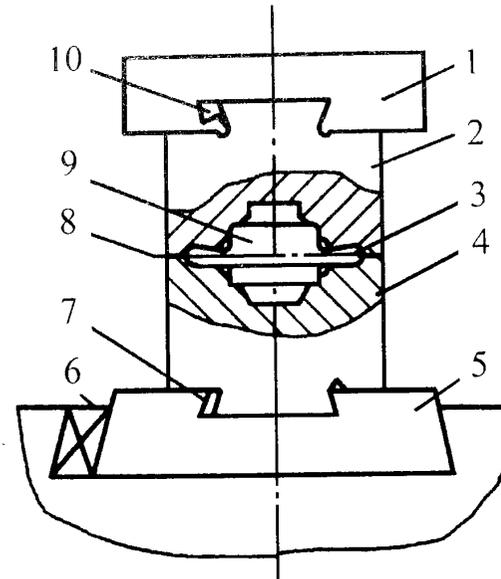
1) 锤上模锻

2) 压力机上模锻

❖ 曲柄压力机上模锻

❖ 摩擦压力机上模锻

❖ 平锻机上模锻



4. 特点

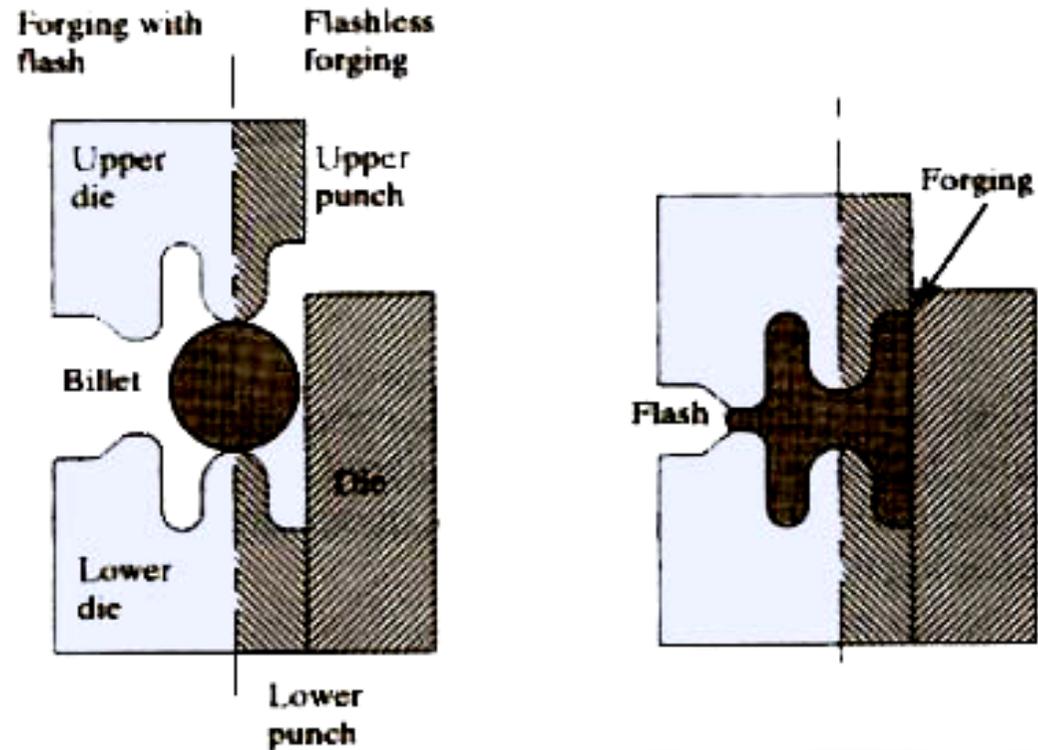
- ❖ 生产效率高;
- ❖ 精度高;
- ❖ 形状复杂的锻件;
- ❖ 模锻设备一般较庞大;
- ❖ 锻模成本较高，模膛加工较困难;
- ❖ 适合于中小型锻件的大批量生产。

➤ 特点和应用:

1. 生产效率: 自由锻 < 胎膜锻造 < 模锻;
2. 锻件尺寸精确: 自由锻 < 胎膜锻造 < 模锻;
3. 设备: 与模锻比, 简单, 锻模易加工;
4. 适于批量锻造中小型零件。

□ 精密模锻:

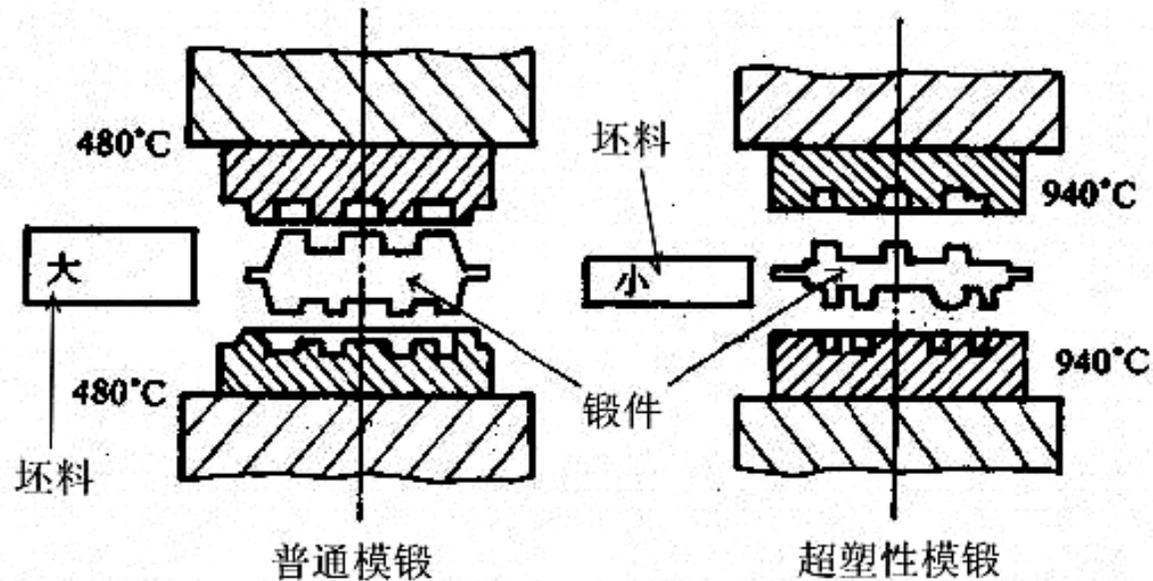
➤ 定义: 在模锻设备上锻造出形状复杂、锻件精度高的模锻工艺方法。



□ 超塑性模锻:

➤ 定义: 金属在特定条件—组织条件、温度条件、变形速度, 相对伸长率超过100%以上的特性

➤ 基本工艺过程:



三、分类

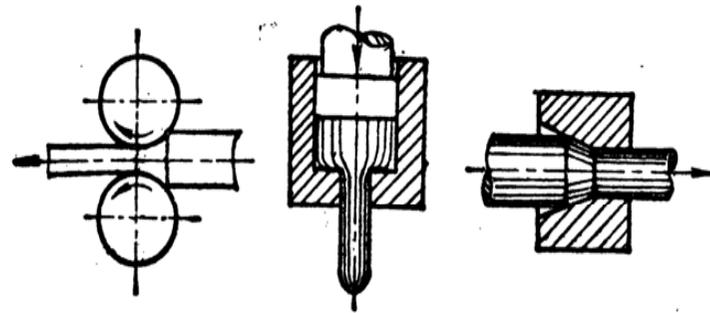
❖ 锻造

❖ 冲压

❖ 轧制

❖ 挤压

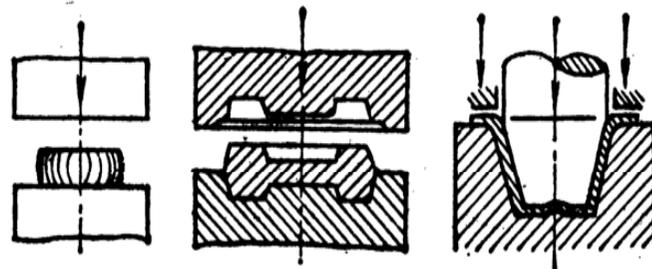
❖ 拉拔



(a) 轧制

(b) 挤压

(c) 拉丝



(d) 自由锻造

(e) 模型锻造

(f) 薄板冲压

冲 压

1. 定义：利用冲模使板料产生分离或变形的加工成型方法。

- 冷冲压：板料厚度 $<8\text{mm}$
- 热冲压：板料厚度 $>8\text{mm}$

2. 冲压设备

剪床：把板料切成一定宽度的条料，
为后续的冲压备料。

冲床：完成冲压的各道工序，生产出
合格的产品

3. 基本工序:

根据板料在加工过程中其**整体性是否破坏**

- 分离工序: 冲孔、落料、修整
- 变形工序: 弯曲、拉深、胀形、翻边

特种冲压成形

- ✓ 旋压成形
- ✓ 爆炸成形
- ✓ 电磁成形

板料冲压特点

与锻造相比，薄板冲压的零件有着重量轻、形状多变的优点。

低碳钢价格低，具有足够的强度及良好的成形性能是最常用的金属薄板料。

航空宇航业常选用铝和钛薄板料。

三、分类

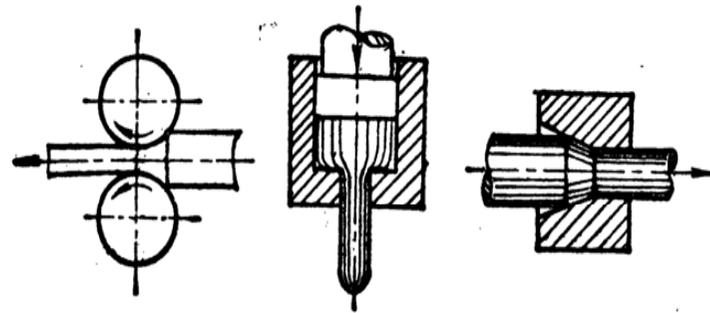
❖ 锻造

❖ 冲压

❖ 轧制

❖ 挤压

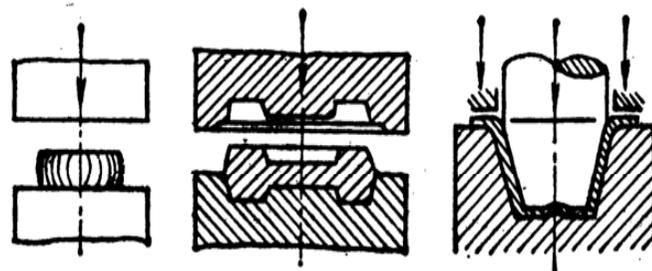
❖ 拉拔



(a) 轧制

(b) 挤压

(c) 拉丝



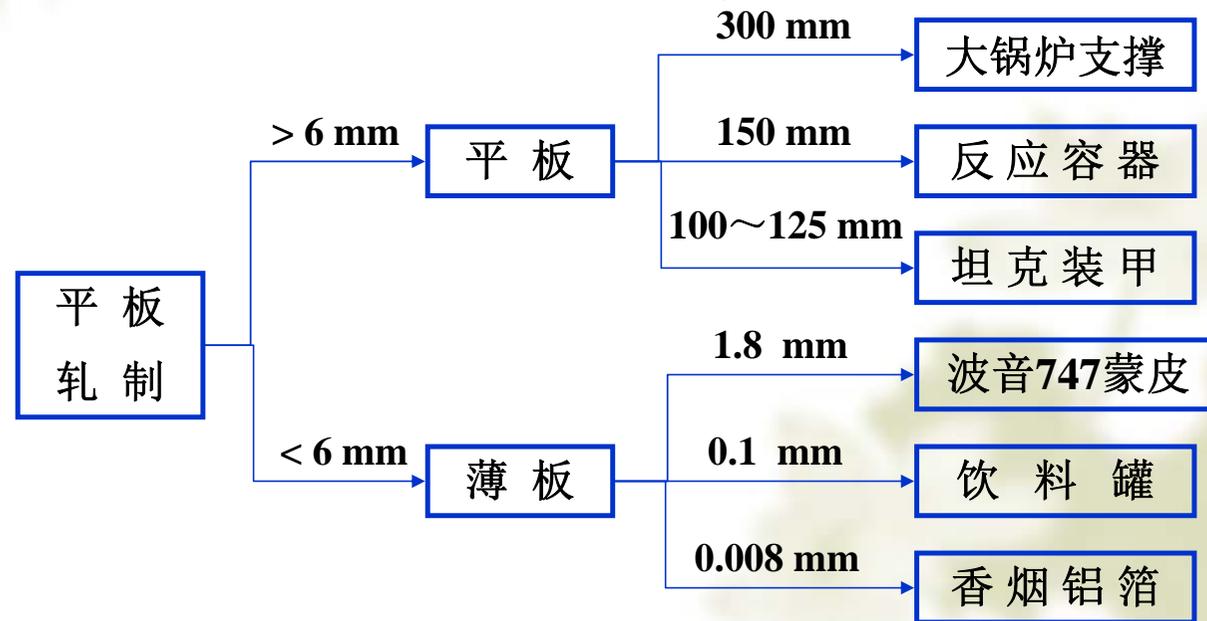
(d) 自由锻造

(e) 模型锻造

(f) 薄板冲压

轧制

轧制的基本操作是平板轧制，即简单轧制，轧出来的是**平板和薄板**。



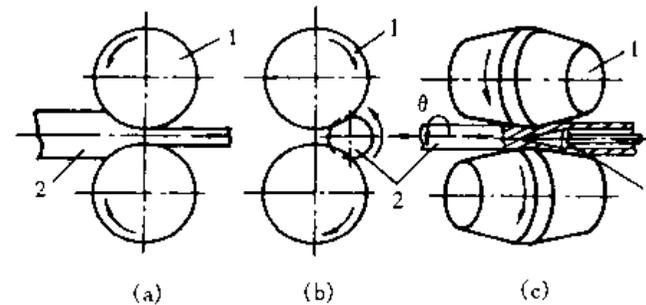
2、主要形式

根据轧辊轴线与坯料轴线方向的不同

❧ 纵轧

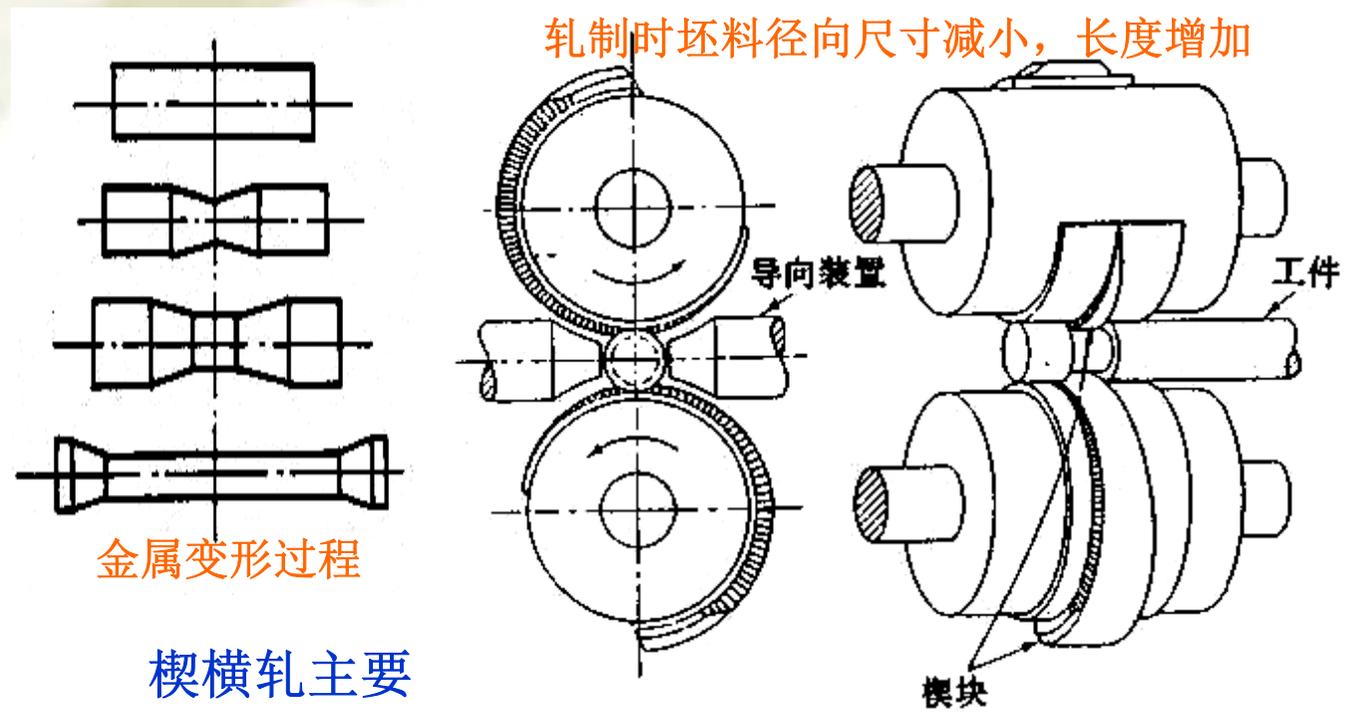
❧ 横轧

❧ 斜轧



轧制的主要形式
(a)纵轧;(b)横轧;(c)斜轧
1—轧辊;2—坯料;3—芯棒

➤ 楔横轧：利用两个外表镶有凸块并作同向旋转的平行轧辊对沿轧辊轴向送进的坯料进行轧制的方法。



用于加工阶梯轴、锥形轴等各种对称的零件或毛坯。

三、分类

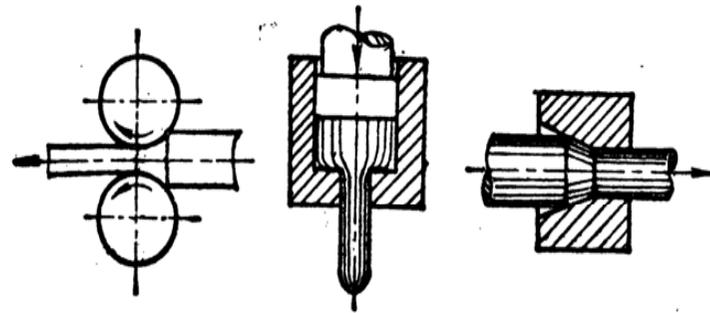
❖ 锻造

❖ 冲压

❖ 轧制

❖ 挤压

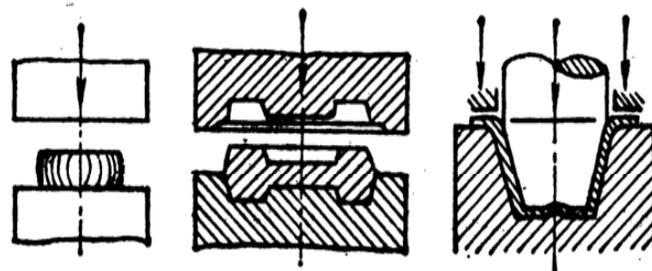
❖ 拉拔



(a) 轧制

(b) 挤压

(c) 拉丝



(d) 自由锻造

(e) 模型锻造

(f) 薄板冲压

挤 压

1. 定义：对放在容器内的金属坯料施加压力，使之从特定模孔中流出，获得所需断面形状和尺寸的加工方法。

2. 特点：

- 多数实心或空心截面都可通过挤压成形；
- 挤出件具有恒定的截面；
- 分批或半连续的成形工艺

3. 挤压成型的种类

根据金属的流动方向和凸模运动方向

- ❧ **正挤压**: 金属流动方向与凸模运动方向**相同**
- ❧ **反挤压**: 金属流动方向与凸模运动方向**相反**
- ❧ **复合挤压**
- ❧ **径向挤压**: 金属流动方向与凸模运动方向成**90° 角度**
- ❧ **静液挤压**: 利用液体对坯料施加压力, 使金属坯料通过凹模成形

4. 挤压成形的特点:

- 挤压时金属坯料在**三向受压**状态变形, 因此可提高金属坯料的塑性;
- 可挤各种形状复杂、深孔、薄壁、异性断面的零件;
- 零件精度高、表面粗糙度低;
- 挤压件内部的纤维组织提高了力学性能。

三、分类

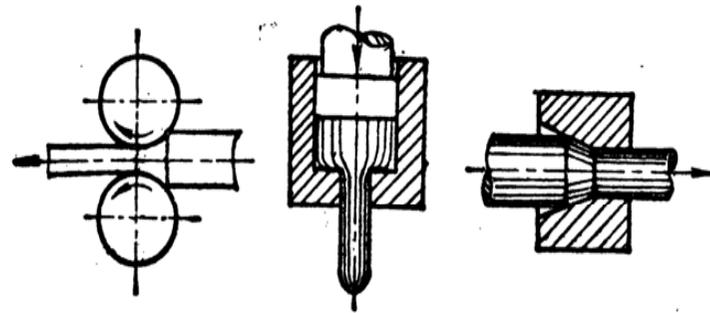
❖ 锻造

❖ 冲压

❖ 轧制

❖ 挤压

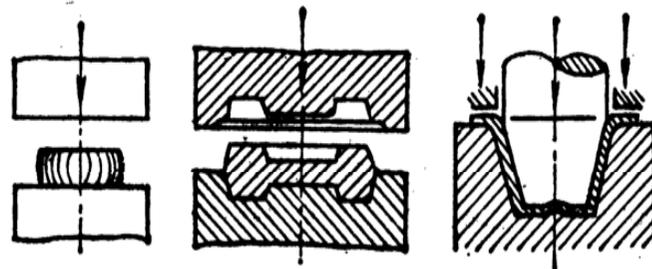
❖ 拉拔



(a) 轧制

(b) 挤压

(c) 拉丝



(d) 自由锻造

(e) 模型锻造

(f) 薄板冲压

拉 拔

拉拔：在**外加拉力**的作用下，迫使金属坯料通过模孔产生塑性变形，以获得与模孔形状、尺寸相同制品的一种加工方法。

生产棒材、型材、线材和管材的主要方法。

四、压力加工特点

- ❧减少金属量的消耗，提高生产率
- ❧消除材料内部的某些缺陷，改善材料组织及性能
- ❧不适于制造形状复杂及塑性低的材料

思考题

1. 比较砂型铸造、熔模铸造、金属型铸造、压力铸造在铸型、充型方式方面的差别。
2. 浇注位置和分型面是如何选择的？
3. 比较自由锻造和模锻的特点。
4. 模膛分哪几类？制坯模膛、预锻模膛、终锻模膛有何区别？