



第六章 压力加工

本课题重点与难点

教学重点

自由锻特点、工序及应用，模锻特点、方法及应用，板料冲压特点、工序及应用。

教学难点

金属塑性成形原理，绘制自由锻件图。



6.1 锻压工艺基础

1、金属塑性加工方法

- 1) **轧制** 使金属坯料在旋转轧辊的压力作用下，产生连续塑性变形，改变其性能，获得所要求的截面形状的加工方法。
- 2) **挤压** 将金属坯料置于挤压筒中加压，使其从挤压模的模孔中挤出，横截面积减小，获得所需制品的加工方法。
- 3) **拉拔** 坯料在牵引力作用下通过拉拔模的模孔拉出，产生塑性变形，得到截面细小、长度增加的制品的加工方法，拉拔一般是在冷态下进行。
- 4) **自由锻** 用简单的通用性工具，或在锻造设备的上、下砧间，使坯料受冲击力作用而变形，获得所需形状的锻件的加工方法。



6.1 锻压工艺基础

5) **模锻** 利用模具使金属坯料在模膛内受冲击力或压力作用，产生塑性变形而获得锻件的加工方法。

6) **板料冲压** 用冲模使板料经分离或成形得到制件的加工方法。

在上述的六种金属塑性加工方法中，轧制、挤压和拉拔主要用于生产型材、板材、线材、带材等；自由锻、模锻和板料冲压总称锻压，主要用于生产毛坯或零件。

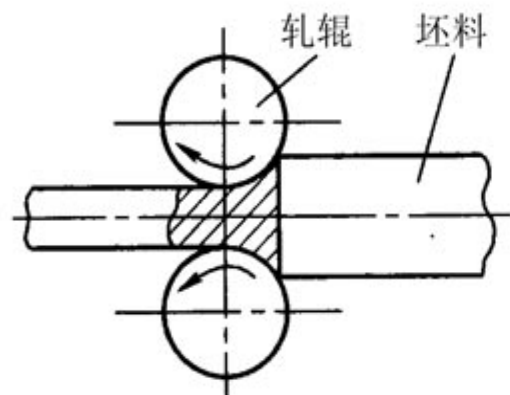
2、锻压加工特点

- (1) 改善金属组织，提高金属的力学性能；
- (2) 适用范围广，生产效率高；
- (3) 适用范围广，生产效率高。

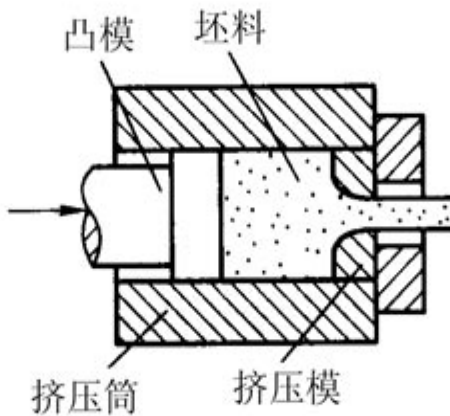
锻压的缺点，与铸造相比难以获得形状较为复杂的零件。



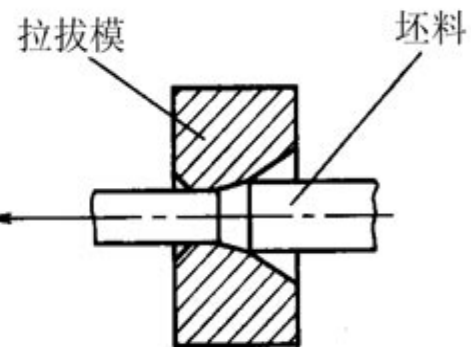
6.1 锻压工艺基础



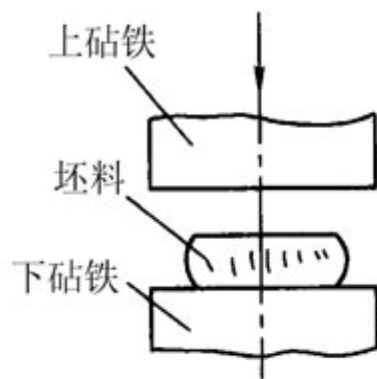
(a) 轧制



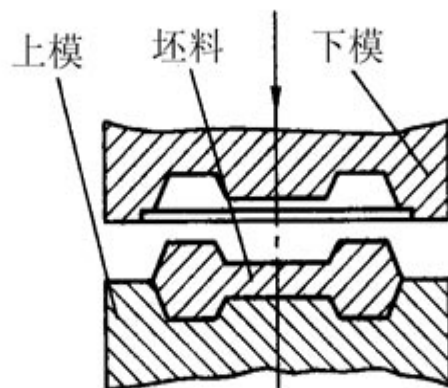
(b) 挤压



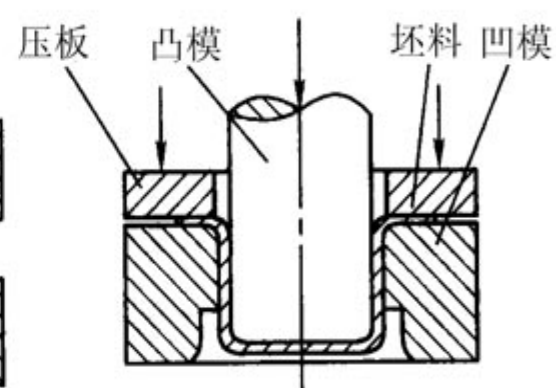
(c) 拉拔



(d) 自由锻



(e) 模锻



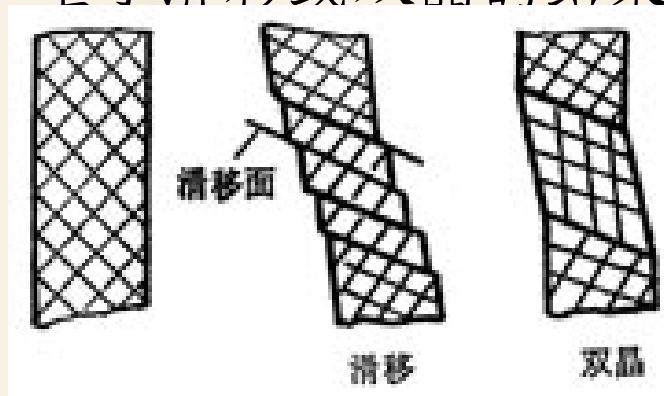
(f) 板料冲压



6.2 金属的塑性变形

1、金属塑性变形的实质

当作用在金属上的外力超过屈服点时，外力撤去后，金属的变形不能完全恢复，还有一部分永久变形，称为金属的塑性变形。塑性变形的产生是由于组成金属的晶粒本身及晶粒之间产生了滑移或双晶的结果。



单晶体变形示意图



6.2 金属的塑性变形

2、塑性变形对金属组织和性能的影响

金属塑性变形分为冷变形和热变形两种。

(1) 冷变形对金属组织和性能的影响

冷变形是再结晶温度以下的变形。

组织变化

冷变形强化

产生残余应力

(2) 热变形对金属组织和性能的影响

热变形是再结晶温度以上的变形。

改善金属的组织 and 性能

使金属性能各向异性



6.2 金属的塑性变形

3、金属的锻压性能

金属的锻压性能是指金属锻压变形难易程度的一种工艺性能。

锻压性能常用塑性和变形抗力两个指标来综合衡量。塑性越好，变形抗力越小，则金属的锻压性能越好。

- (1) 化学成分对锻压性能的影响
- (2) 金属组织对锻压性能的影响
- (3) 变形温度对锻压性能的影响
- (4) 其他因素对锻压性能的影响



6.2 金属的塑性变形

4、金属锻造的加热与冷却

(1) 坯料的加热

1) 加热的目的

加热的目的是为了提_高坯料的塑性、降低变形抗力，改善锻压性能。

2) 锻造温度范围

锻造温度范围是锻件由始锻温度到终锻温度的温度区间。

① 始锻温度：开始锻造时坯料的温度即始锻温度。

② 终锻温度：坯料停止锻造的温度即终锻温度。



6.2 金属的塑性变形

(2) 锻件的冷却

1) 空冷

空冷是将热态锻件放在静止空气中冷却。

2) 坑冷或灰砂冷

坑冷是将热态锻件埋在地坑或铁箱中缓慢冷却的方法。灰砂

冷是将热态锻件埋入炉渣、灰或砂中缓慢冷却的方法。

3) 炉冷

炉冷是将锻后的锻件放入炉中缓慢冷却的方法。



6.3 自由锻造

自由锻是只用简单的通用性工具，或在锻造设备的上、下砧间直接使坯料变形而获得所需的几何形状及内部质量锻件的方法。

6.3.1 自由锻的分类、特点及应用

自由锻的适应性强，灵活性大，生产周期短，成本低。缺点是锻件尺寸精度低，加工余量大，金属材料消耗多，生产率低，劳动强度大、条件差，要求操作者的技术水平较高。

自由锻适合于单件、小批和大型锻件的生产。



6.3 自由锻造

6.3.2 自由锻设备

1) 自由锻常用设备





6.3 自由锻造

2) 自由锻常用工具





6.3 自由锻造

6.3.3 自由锻工序

自由锻工序分为基本工序、辅助工序和精整工序。

基本工序包括镦粗、拔长、冲孔、弯曲、切割等，见表 6-4；

辅助工序包括压钳口、倒棱、压肩等；

精整工序是对已成形的锻件表面进行平整，清除毛刺、校直弯曲、修整鼓形等。



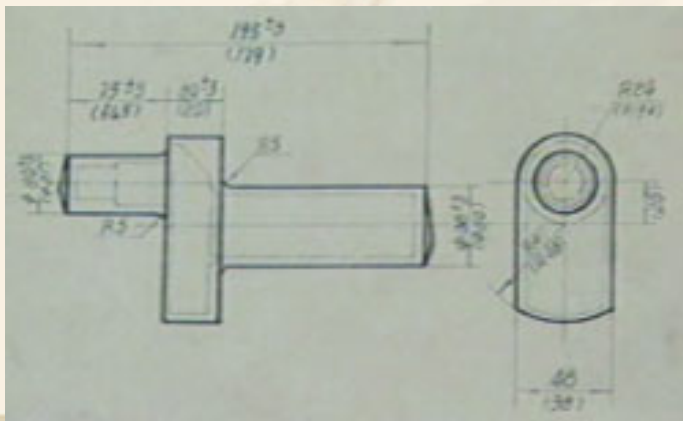
6.3 自由锻造

6.3.4 自由锻工艺规程的制定简介

工艺规程是指导生产的基本技术文件。

自由锻的工艺规程主要有以下内容：

- 1、绘制锻件图
- 2、坯料质量和尺寸的计算
- 3、选择锻造工序
- 4、选择锻造设备
- 5、选择坯料加热、锻件冷却和热处理方法
- 6、齿轮坯自由锻工艺卡参考示例





6.3 自由锻造

6.3.5 自由锻零件的结构工艺性简介

设计自由锻零件时，必须考虑锻造工艺是否方便、经济和可能；零件的形状应尽量简单和规则。零件的结构不合理，将使锻造操作困难，降低生产率和造成金属的浪费。

自由锻零件的结构工艺性见表6-8。



6.4 模型锻造

6.4.1 模锻

1、模锻的特点

模锻是利用模具使坯料变形而获得锻件的方法。模锻与自由锻相比，具有以下特点：

- 1) 生产率高、易于机械化，可成批大量生产。
- 2) 锻件尺寸精度高、表面粗糙度值小，可以减少机械加工余量和余块的数量，节省金属材料 and 加工工时。

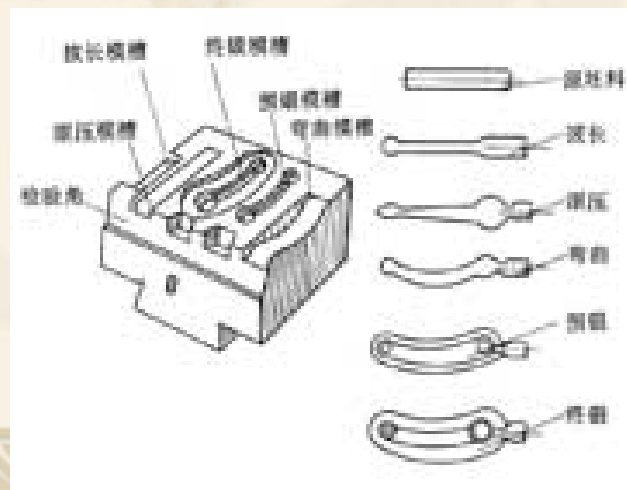
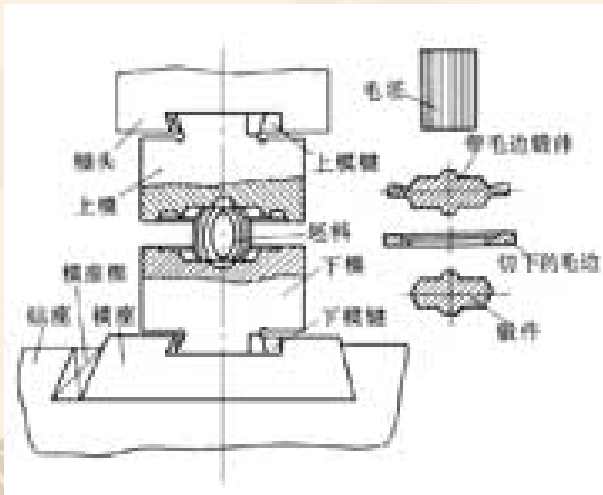
但是，模具费用昂贵，需要能力较大的专用设备，所以只有在大批大量生产时采用模锻才是经济合理的，模锻件的重量一般在 150kg 以下。



6.4 模型锻造

2、锤上模锻

模锻根据所用设备的不同，可以分为锤上模锻、曲柄压力机上模锻、平锻机上模锻和摩擦压力机上模锻。其中锤上模锻是较为常用的模锻方法，所用设备主要是蒸汽-空气模锻锤。形状简单的锻件可在单模槽内锻造成形，称单模槽模锻，见图；复杂的锻件，必须在几个模槽内锻造后才能成形，称多模槽模锻，见下图：





6.4 模型锻造

6.4.2 胎模锻

1、胎模锻的特点

胎模锻是介于自由锻与模锻之间的锻造方法。

胎模锻一般先用自由锻制坯，再在胎膜中最后成形。

与自由锻相比，胎模锻生产率和锻件尺寸精度高、表面粗糙度值小、节省金属材料、锻件成本低。

与模锻相比，胎模制造简单，成本低，使用方便；但所需锻锤规格和操作者劳动强度大，生产率和锻件尺寸精度不如锤上模锻高。



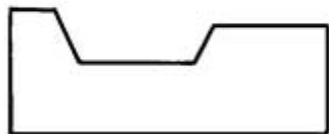
6.4 模型锻造

2、胎模的结构及应用

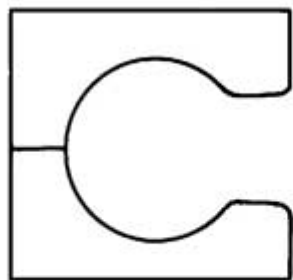
胎膜不固定在锤头和砧座上，需要时放在下砧铁上。

按其结构可大致分为扣模、合模和套模三种主要类型。

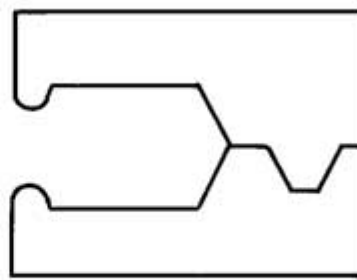
(1) 扣模



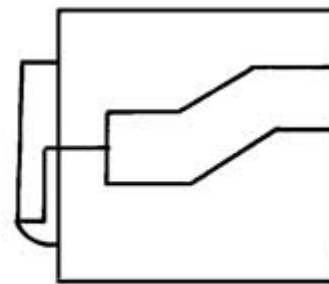
(a) 单扇扣模



(b) 双扇扣模



(c) 导锁式扣模

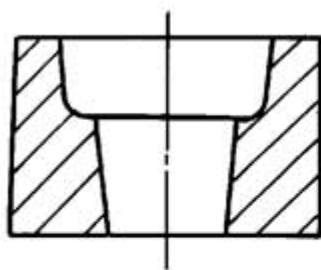


(d) 导板式扣模

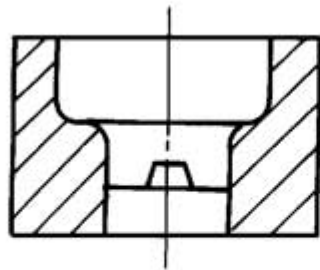


6.4 模型锻造

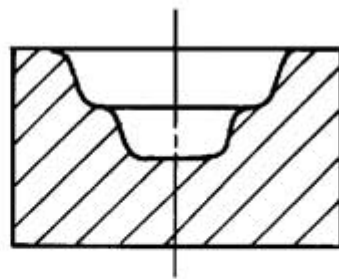
(2) 套模



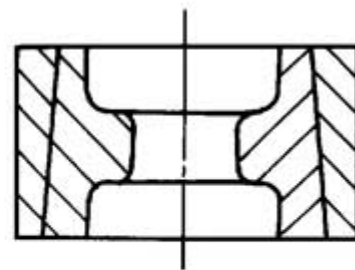
(a) 无垫模



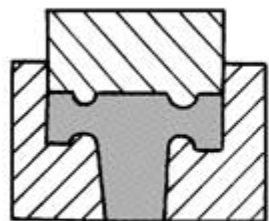
(b) 有垫模



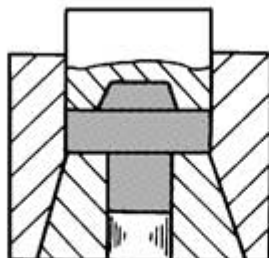
(c) 跳模



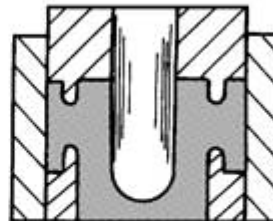
(d) 拼分模



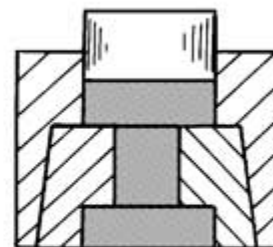
(a) 活动模冲式套模



(b) 模冲模垫式套模



(c) 活动冲头套模

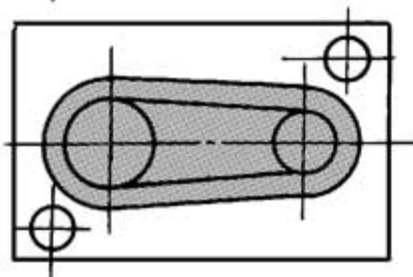
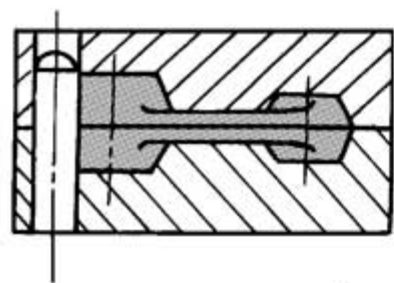


(d) 拼分式套模

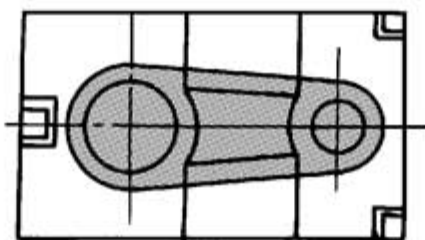
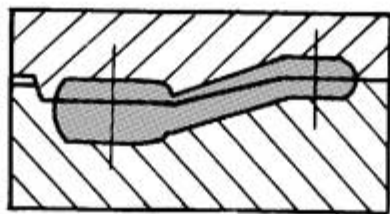


6.4 模型锻造

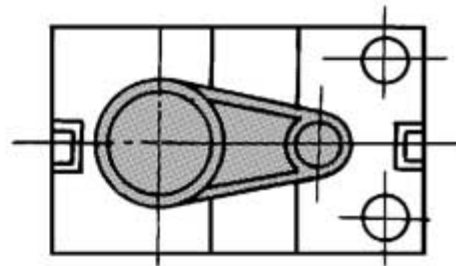
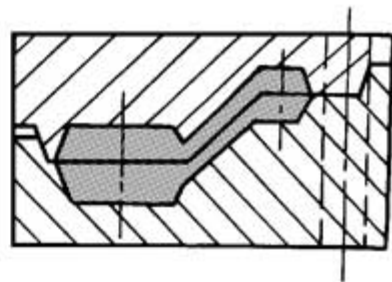
(3) 合模



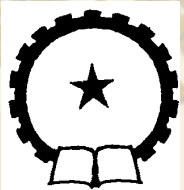
(a) 导柱式



(b) 导锁式



(c) 导锁导柱联合式



6.5 板料冲压

6.5.1 板料冲压的特点及应用

板料冲压通常在室温下进行，所以又称冷冲压，简称冲压。

冲压的特点是不需要对毛坯加热，是节约能源的加工方法；生产操作简单，生产率高，易实现自动化和机械化；可以制造形状复杂零件，废料较少；冲压件结构轻巧，强度、刚度和尺寸精度较高，质量稳定，互换性好。

其缺点是冲压模具结构复杂，精度要求高，制造费用高。

冲压只有在大批量生产条件下，才能充分显示优越性。

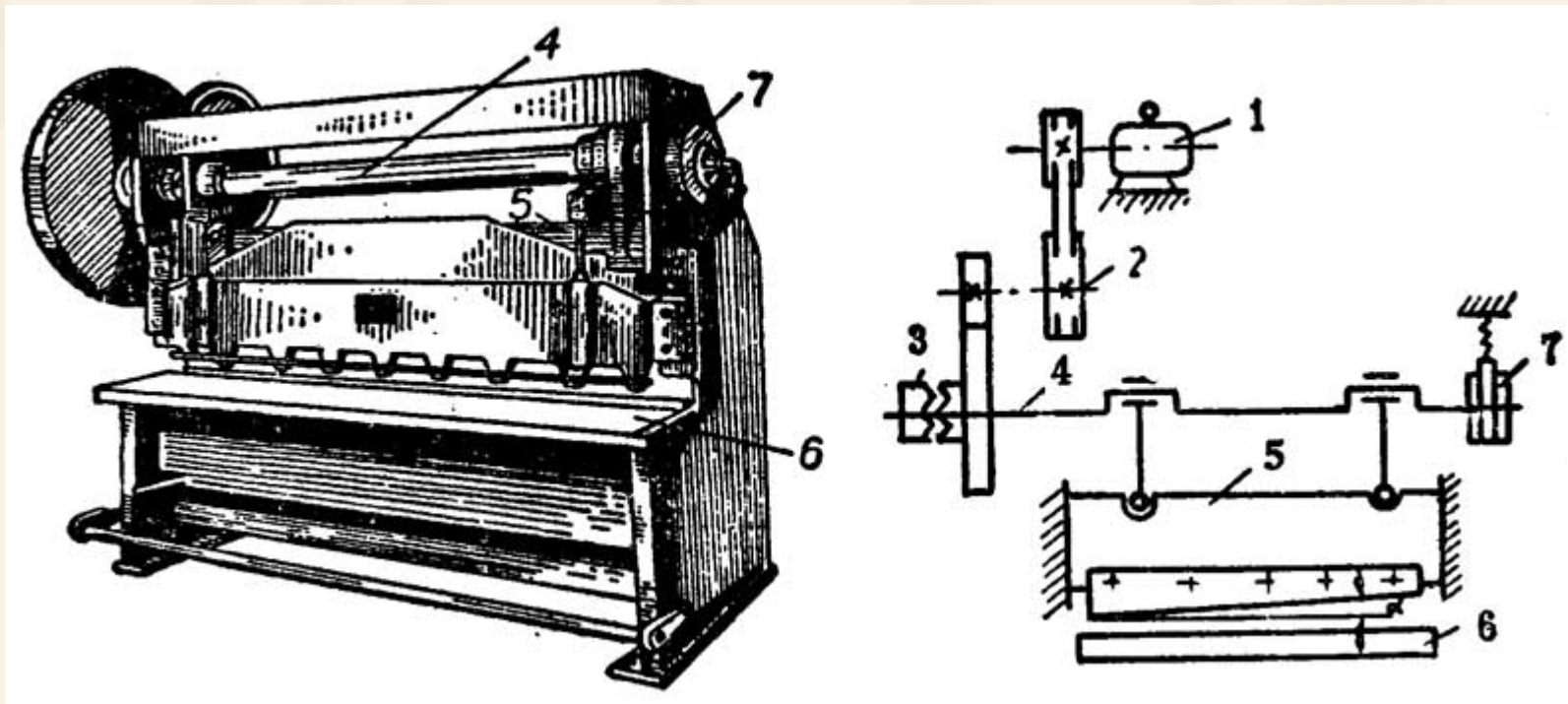


6.5 板料冲压

6.5.2 冲压设备

剪床

剪床的用途是把板料切成一定宽度的条料，以供下一步冲压工序之用。



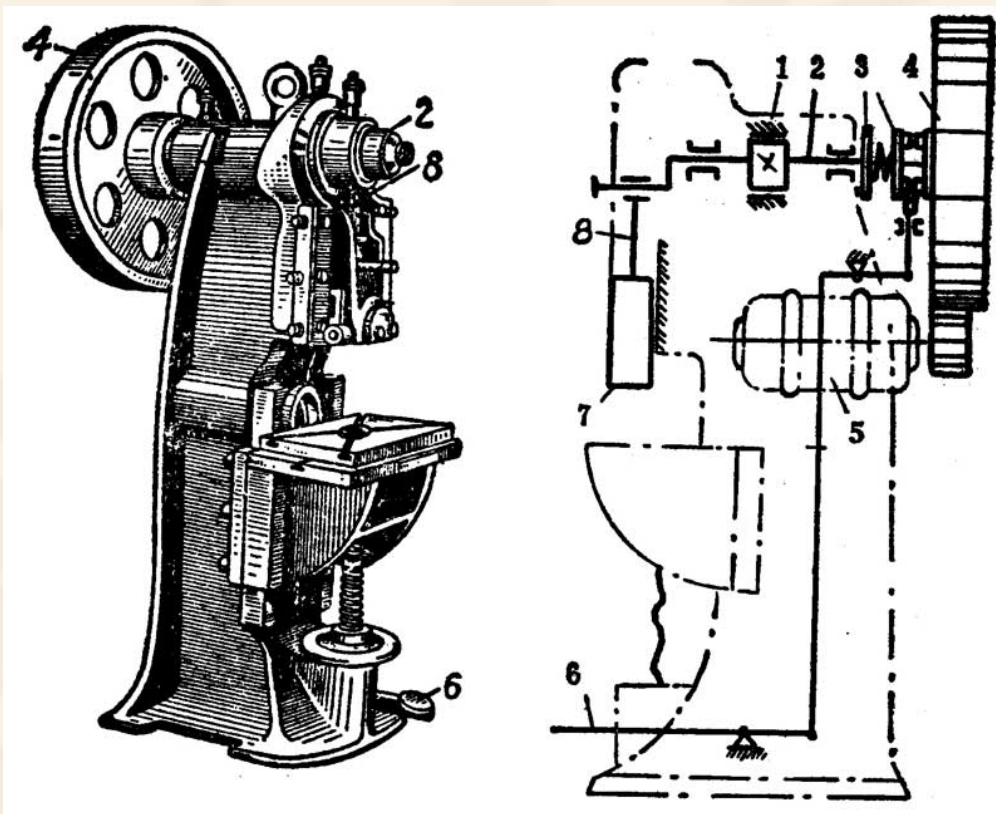


6.5 板料冲压

6.5.2 冲压设备

冲床将完成除剪切以外的其他冲压工作。

冲床





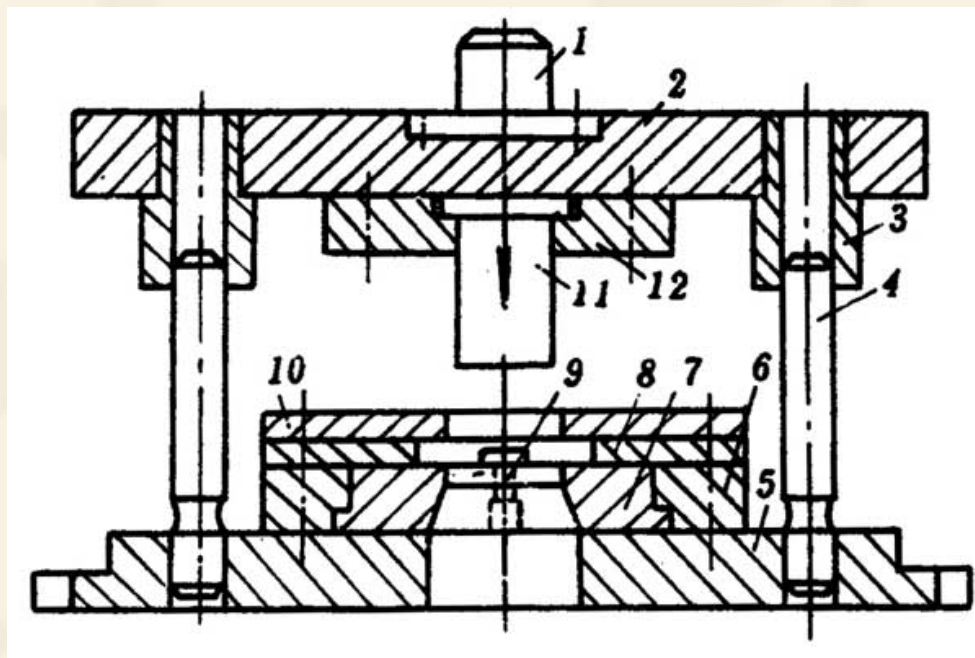
6.5 板料冲压

6.5.3 冲压模具

冲压模具是冲压生产中必不可少的工艺装备，按冲压工序的组合程度不同可分为简单冲模、连续冲模和复合冲模三种。

1、简单冲模

简单冲模在冲床一次行程中只完成一道工序

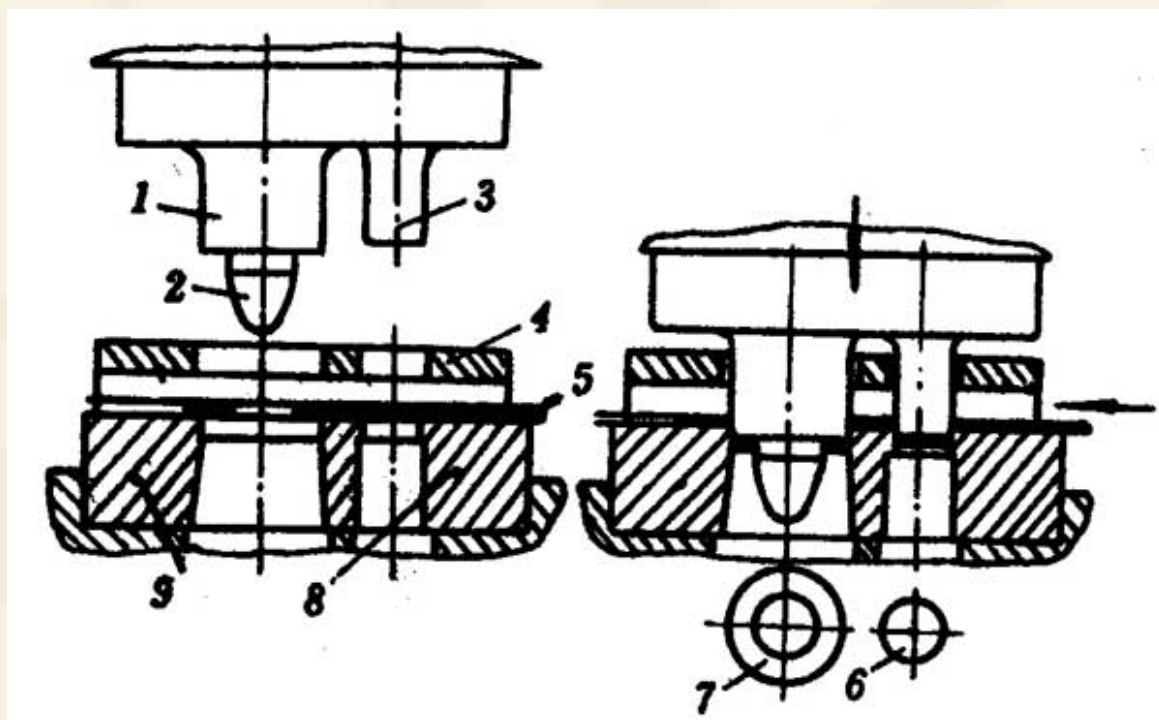




6.5 板料冲压

2、连续冲模

连续冲模在冲床一次行程中，按着一定顺序，在模具的不同位置上，同时完成数道冲压工序。

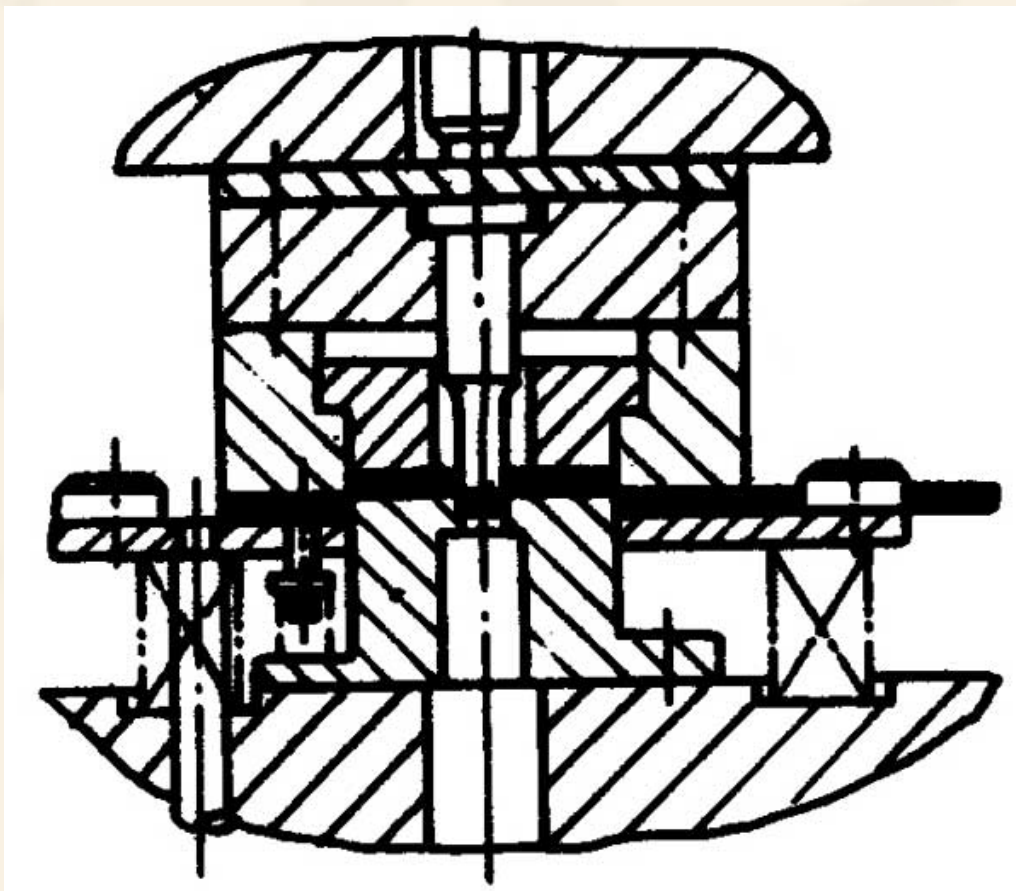




6.5 板料冲压

3、复合冲模

复合冲模在冲床一次行程中，在模具的同一位置上，完成两道以上冲压工序。





6.5 板料冲压

4、板料冲压的基本工序

(1) 分离工序

剪切→落料和冲孔→整修→切口

(2) 成形工序

弯曲→拉深→缩口→胀形→翻边→起伏



6.5 板料冲压

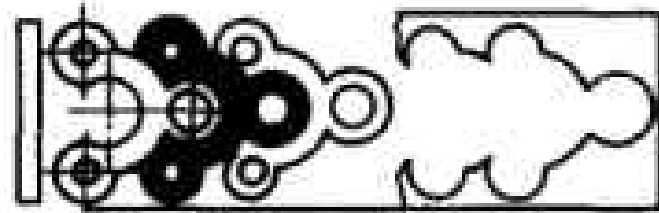
6.5.5 板料冲压件的结构工艺性

1、落料和冲孔工序对零件的要求

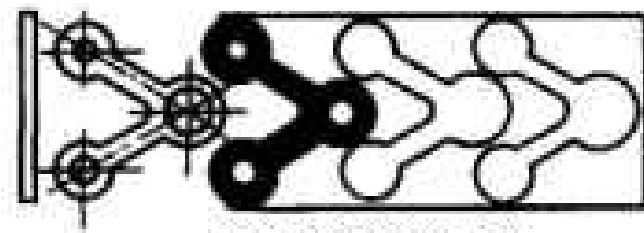
- (1) 零件的形状应使排样时有可能将废料降低到最少。
- (2) 零件的外形应避免长槽和细长悬臂零件 (δ 为板厚)。
- (3) 转角处圆角半径 r 与板厚 δ 有关, 当 $\alpha > 90^\circ$ 时, $r \geq (0.3 \sim 0.5) \delta$; 当 $\alpha < 90^\circ$ 时, $r \geq (0.6 \sim 0.7) \delta$ 。
- (4) 孔间距离或孔与零件边缘的距离不宜过小, 孔径也不能过小, 否则会因凸模强度不够而发生折断。一般 $a \geq 2\delta$, 并保证 $a > 3 \sim 4\text{mm}$ 。



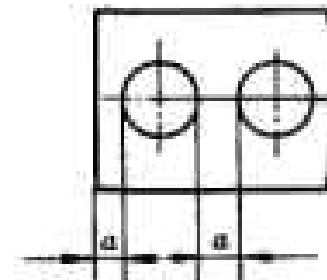
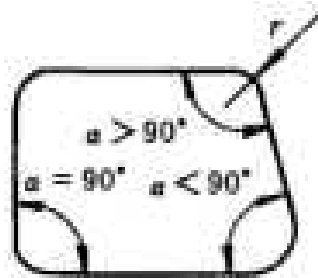
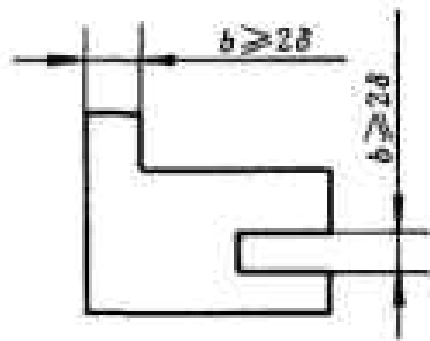
6.5 板料冲压



材料利用率为 79%



材料利用率为 38%





6.5 板料冲压

2、弯曲工序对零件的要求

(1) 弯曲半径不宜小于最小弯曲半径，以免弯裂。

$R_{\min} \geq (0.2 \sim 0.8) \delta$ (顺着坯料的纤维方向弯曲) 或

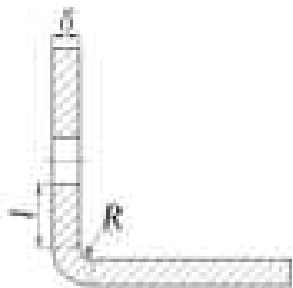
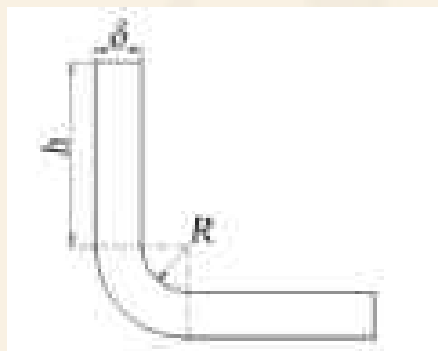
$R_{\min} \geq (0.4 \sim 1.2) \delta$ (垂直坯料的纤维方向弯曲)。

(2) 弯曲边不能过短，一般 $h > 2\delta$ 。否则难以获得形状准确的工件。

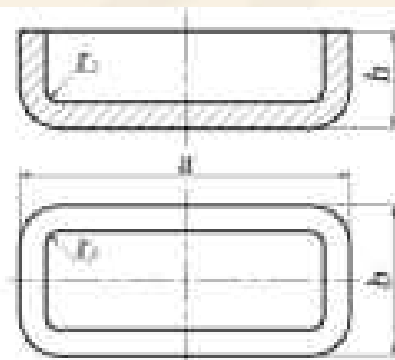
(3) 如果弯曲附近有孔时，应使孔的位置离开弯曲变形区，否则孔容易变形。一般 $l \geq \delta$ (δ 小于 2mm) 或 $l \geq 2\delta$ (δ 不小于 2mm)， l 是孔缘至弯曲半径中心的距离。



6.5 板料冲压



(a)



(b)



6.5 板料冲压

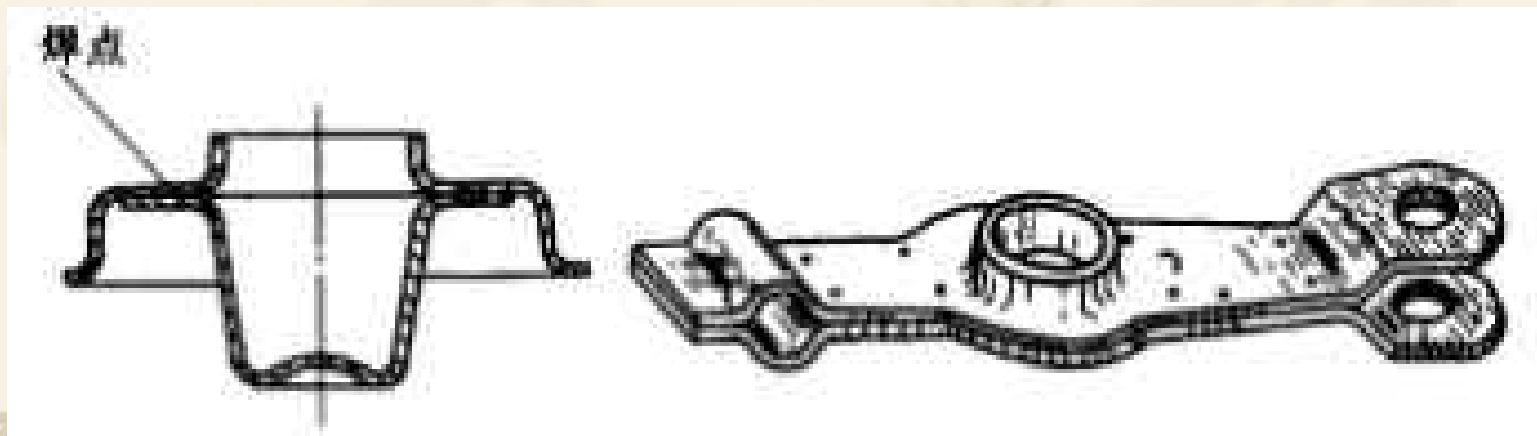
3、拉深工序对零件的要求

(1) 尽量减少拉深零件的高度，减少拉深次数。一般 $d_{凸} < 3d$ 、 $h < 2d$ 。

(2) 弯曲处的圆角半径不宜过小。一般 $r_1 > 2\delta$ 、 $r_2 > (3 \sim 4)\delta$ 、 $r_3 > 3\delta$ 、 $r_4 > 0.15\delta$ 。

(3) 对拉深零件的精度要求不宜过高。

(4) 复杂的冲压件可采用冲-焊结构，简化冲压工艺





6.6 锻压新工艺与新技术简介

6.6.1 锻压新工艺

1、精密模锻

2、粉末锻造

3、超塑性成形

4、高速锤锻造

5、高能成形

6、爆炸成形

7、电磁成形

8、电液成形



6.6 锻压新工艺与新技术简介

6.6.2 锻压新技术

- 1、采用冶炼新技术，提高大锻件用钢锭的质量
- 2、采用了少氧化或无氧化以及快速加热技术
- 3、计算机技术在锻造生产上的应用
- 4、突出发展精密净形成形，发展少切削或无切削技术
- 5、复合技术
- 6、液压成形技术
- 7、激光成形技术
- 8、发展高效率、高精度、多工位成形设备



本章小结

本章介绍了自由锻、胎膜锻、锤上模锻和板料冲压等锻压方法，每种方法均有其工艺特点和适用范围，选用时应注意考虑零件的使用性能、锻压性能和经济性等因素。

常用锻造方法比较

加工方法	适用范围	生产率	锻件精度	模具寿命	模具特点	劳动条件	机械化与自动化	单件生产成本	批量生产成本
自由锻	小、中、大型锻件，单件小批量生产	低	低	—	—	差	难	低	高
胎模锻	小、中型锻件，中小批量生产	较高	中	较低	模具简单，不固定在设备上，取换方便	差	较难	中	较低
锤上模锻	中、小型锻件，大批生产，适合锻造各类型模锻件	高	中	中	锻模固定在锤头和砧座上，模膛复杂，造价高	差	较易	高	低