



# 金属压力加工实训



南 华 大 学  
机电类创新训练中心

# 概论

- ❖ 3.1 金属塑性变形的基本理论;
- ❖ 3.2 自由锻;
- ❖ 3.3 模锻;
- ❖ 3.4 板料冲压。

# 金属压力加工概论

- ❖ 压力加工是使金属材料在外力作用下产生塑性变形，（永久变形）以获得所需形状、尺寸及机械性能的毛坯或零件的一种热加工工艺；
- ❖ 包括锻造和冲压；
- ❖ 只适合塑性好的金属材料如中、低碳钢；大多数有色金属及其合金。



# 压力加工分类

- ❖ 锻压
  - 锻造
    - 模锻
    - 自由锻
      - 手工自由锻（打铁）
      - 机器自由锻（锤类、压力机）
  - 冲压
- ❖ 挤压
- ❖ 拉拔
- ❖ 轧制。

# 金属在塑性变形中的特点



- ❖ 坯料体积不变，只是坯料形状和尺寸重新分配的结果（变形工艺）；
- ❖ 与切削加工比较，压力加工的生产效率高，且能节约大量金属；
- ❖ 机械性能高；
- ❖ 由于坯料在固态下成形，受成形工具的限制，故产品的截面形状不能太复杂。



# 金属塑性变形的基本理论

- ❖ 弹性变形的本质（物理解释）；
  - ☞ 外力→应力→原子离开平衡位置→变形→原子位能增加→返回趋势→外力消失→变形消失→弹性变形
- ❖ 金属塑性变形的实质——晶粒内部或晶粒之间产生的滑移及转动；
- ❖ 由于晶体内部存在大量的缺陷，故实际变形的应力要比理论小得多，多为位错运动，即缺陷的转移。





# 塑性变形后金属的组织及性能

- ❖ 加工硬化
- ❖ 回复
- ❖ 再结晶
- ❖ 冷变形和热变形
- ❖ 纤维组织。

# 金属的可锻性

- ❖ 金属的可锻性是指进行加工时的难易程度，（是衡量材料经受压力加工难易程度的工艺性能）；
- ❖ 与塑性及变形抗力有关（综合在一起衡量）塑性高、变形抗力小，则可锻性好；反之，则差。





# 影响金属可锻性的因素

## ❖ 金属的本质（物理特性）

❧ 化学成分的影响

❧ 组织结构的影响

## ❖ 加工条件

❧ 变形温度

❧ 变形速度

❧ 应力状态。

# 晶粒内部的滑移

## ❖ 单晶体的塑性变形的过程

### ☞ 未变形

- ❖ 无外力、正常晶格

### ☞ 弹性变形

- ❖ 外力小于屈服极限，弹性变形

### ☞ 弹—塑性变形

- ❖ 若外力继续增加，超过其屈服强度时，原子间距进一步增加，原子沿着一定的晶面产生相对滑移（该面称滑移面）

### ☞ 塑性变形

- ❖ 外力去除后，原子在新的平衡位置上稳定下来，即弹性变形恢复，但滑移变形保留下来，即塑性变形。

# 晶粒间的滑移

## ❖ 多晶体的塑性变形

- ❧ 大多数金属都属于多晶体，其塑性变形是所有单晶粒变形的综合作用，即晶内滑移和晶间的转动；
- ❧ 每个单晶粒内部的塑性变形仍主要是滑移；
- ❧ 但在多晶体变形中同时伴随有晶粒间的滑移和转动。

# 金属的加工硬化

- ❖ 随着变化程度地增加，这种由于塑性变形在滑移面附近引起晶格的严重畸变，甚至产生碎晶而引起的强度和硬度的提高，塑性和韧性下降，这种现象称为加工硬化；
- ❖ 多数冲压件要利用加工硬化提高零件的强度。

# 金属的回复

- ❖ 当温度适当提高时，由于原子动能的增加，原子扩散能力提高，使晶格畸变程度减轻，内应力明显减小。使加工硬化部分消除的现象。这一过程称回复，此温度称回复温度，即

- ☞  $T_{\text{回}} = (0.25 \sim 0.30) T_{\text{熔}}$

- ❖ 生产中对塑性变形后的工件进行低温退火，就是利用回复的原理。

- ☞ 如碳钢弹簧在冷卷后加热到 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，再缓慢冷却以消除力应力。



# 金属的再结晶

- ❖ 当温度升高到 $T_{\text{再}}$ 时，金属原子动能增加，原子扩散能力更高，能以某些碎晶或杂质为核心，重新生核和成长为新的晶粒，从而完全消除了加工硬化现象。该过程称为再结晶，此温度称为再结晶温度，即：

- ❖  $T_{\text{再}} = 0.4 T_{\text{熔}}$

- ❖ 例如：钢的熔点 $t_{\text{熔}}$ 为 $1535\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则 $t_{\text{再}} = 0.4 (1535+273)\text{K} = 723\text{ K}$ ，即钢的再结晶温度 $t_{\text{再}} = (723-273)\text{ }^{\circ}\text{C} = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。





# 冷变形和热变形

- ❖ 冷变形——再结晶温度以下的变形
  - ☞ 由于有加工硬化的存在，故冷变形可提高工件的强度和硬度，但冷变形不能太大，否则易开裂；
  - ☞ 由于没有氧化及温差小，故可获得较高的精度和表面质量；
- ❖ 热变形——再结晶温度以上的变形
  - ☞ 热变形能以较小的功达到较大的变形，故省力；
  - ☞ 无加工硬化存在；
  - ☞ 晶粒细化，故能获得较高机械性能的再结晶组织；
  - ☞ 应用广泛；常用于重要的零件。



# 纤维组织

- ❖ 纤维组织——热变形时，晶粒和晶界上的杂质都被压扁、且沿变形方向拉长，并被保留下来，这种性能各向异性的组织，称为纤维组织；
- ❖ 当最大正应力与纤维方向重合，或最大切应力与纤维方向垂直时，受力状况最好，因此，在设计 and 制造零件时，应使零件工作时的最大正应力与纤维方向重合，最大切应力与纤维方向垂直，并使纤维分布与零件的轮廓相符合而不被切断；
- ❖ 纤维组织稳定性很高，不能用热处理和其它方法消除它，只有通过金属的塑性变形，方能改变其方向和形状。



# 化学成分对可锻性影响

- ❖ 金属的化学成分不同，可锻性也不同
  - ↪ 一般纯金属的可锻性比合金好，而且合金元素的种类、含量越多，可锻性越差。

# 组织结构对可锻性影响

- ❖ 成分相同而金属组织结构不同，则可锻性差别很大：
  - ❧ 纯金属及固溶体（如奥氏体）具有较好的可锻性，而化合物（如渗碳体）则可锻性很差；
  - ❧ 金属在单相状态下的可锻性比多相状态时好；
  - ❧ 细晶组织可锻性较粗晶组织的可锻性好。

# 变形温度对可锻性的影响



- ❖ 随着温度增加→塑性增加而变形抗力下降→可锻性越好；
  - ❧ 但加热温度过高（超过一定值后），晶粒急剧长大，而金属机械性能反而下降，这种现象称“过热”；
  - ❧ 当加热温度进一步提高到接近熔点时，晶界开始被氧化，失去塑性，金属稍锻即裂，变成废料，这种现象称为“过烧”；
  - ❧ 加热温度过低→塑性下降、变形抗力增加→可锻性变差→易开裂；
- ❖ 故应在合适的锻造温度范围内锻造（800～1200 ℃）。



# 锻造温度范围



- ❖ 始锻温度——锻压时金属允许加热到的最高温度称为始锻温度（1200 °C左右）；
- ❖ 终锻温度——锻压中，当温度逐渐降低到一定程度后，其可锻性变差，必须停止锻造，此时温度称为终锻温度（800 °C左右）；
  - ⦿ 虽然亚共析钢在此温度为二相区（F+A），但仍有一定的塑性；
  - ⦿ 对过共析钢，则为了击碎渗碳体的网状组织（ $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ ），改善钢的性能，在此温度仍可锻击。





# 变形速度对可锻性的影响

❖ 正作用 ( $V_{\text{变}} > W_K$ );

☞ 塑性变形能量 $\uparrow$   $\rightarrow$  转变成热能 $\uparrow$   $\rightarrow$  温度 $\uparrow$   $\rightarrow$  变形抗力 $\downarrow$  , 塑性 $\uparrow$   $\rightarrow$  可锻性 $\uparrow$ ;

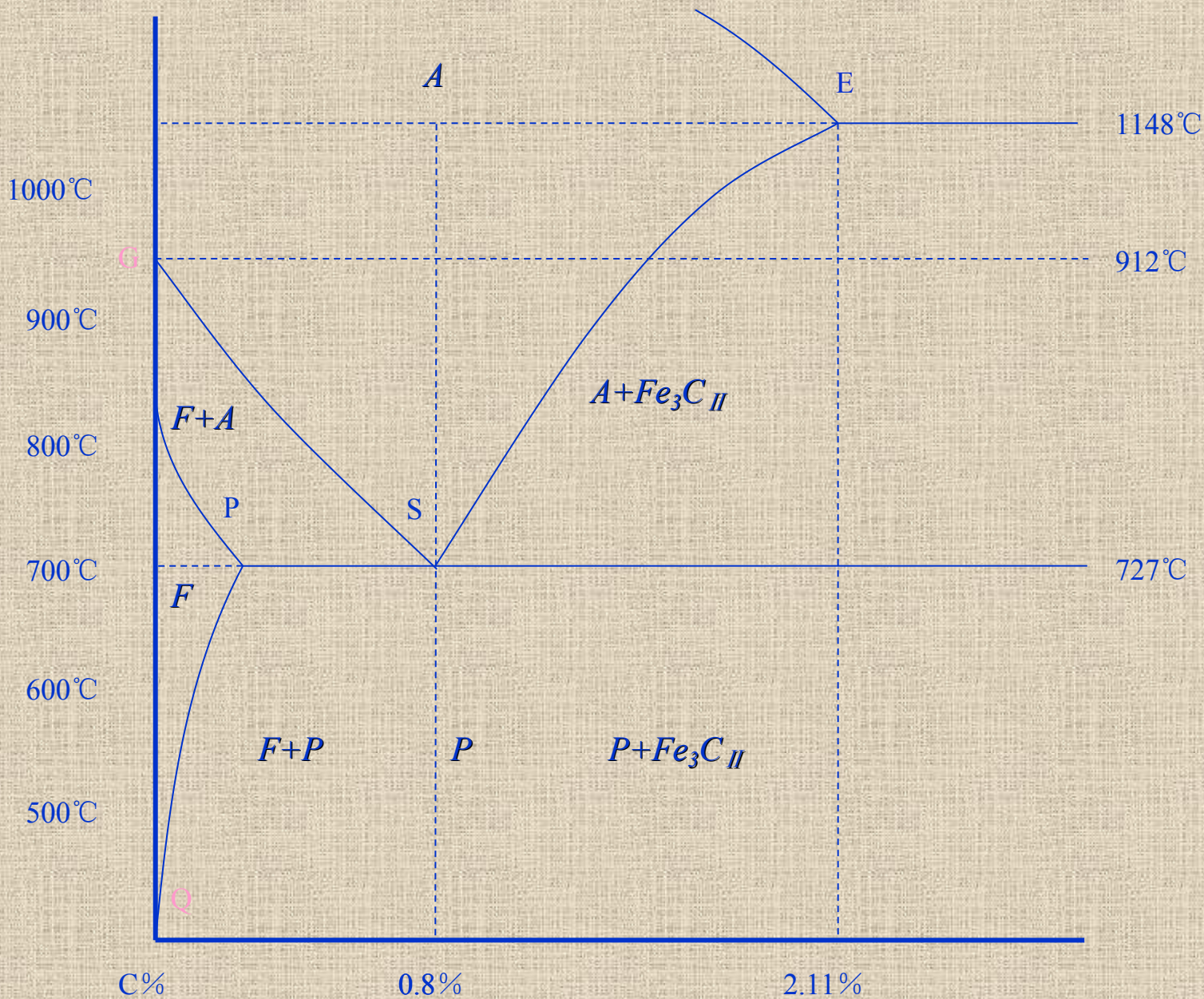
❖ 反作用 ( $V_{\text{变}} < W_K$ );

☞ 回复及再结晶来不及克服加工硬化现象  $\rightarrow$  变形抗力 $\uparrow$  , 塑性 $\downarrow$   $\rightarrow$  可锻性 $\downarrow$ 。

# 应力状态对可锻性的影响

- ❖ 压应力数目越多（三个方向的压应力） $\rightarrow$ 塑性 $\uparrow$   $\rightarrow$ 可锻性 $\uparrow$ ；但同时变形抗力 $\uparrow$   $\rightarrow$ 可锻性 $\downarrow$ ；
- ❖ 压应力数目越少（二个方向的压应力，一个方向的拉应力） $\rightarrow$ 塑性 $\downarrow$   $\rightarrow$ 可锻性 $\downarrow$ ；但同时变形抗力 $\downarrow$   $\rightarrow$ 可锻性 $\uparrow$ ；
- ❖ 因此，对塑性好的材料，应利用拉应力使其变形抗力 $\downarrow$   $\rightarrow$ 以减小变形能量消耗 $\rightarrow$ 省力 $\rightarrow$ 拉拔；
- ❖ 而对塑性差的金属，则应利用三向压应力 $\rightarrow$   $\uparrow$ 塑性 $\rightarrow$ 以免开裂 $\rightarrow$  挤压。

# 碳钢的锻造温度范围





# 模 锻

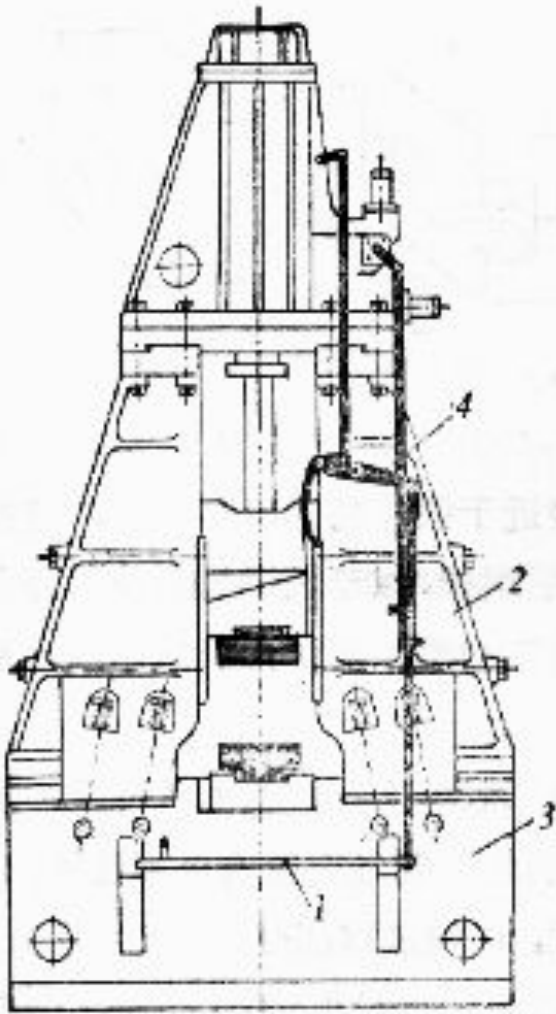
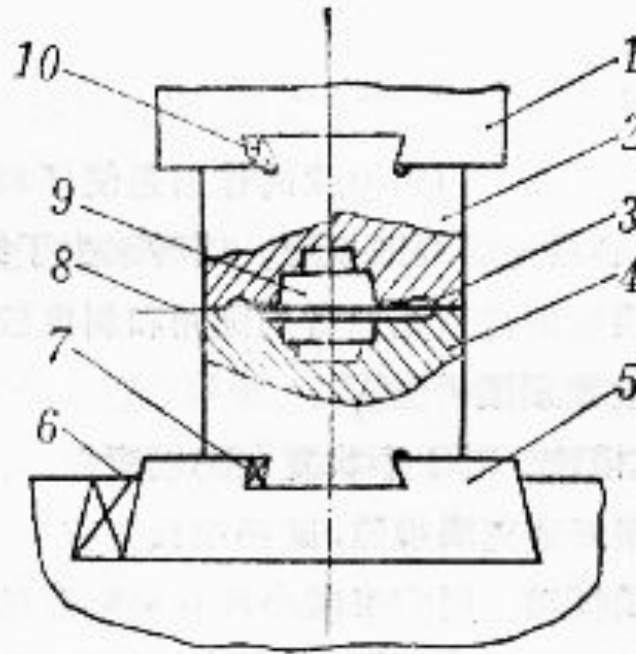


图 3-26 蒸汽-空气模锻锤



1—锤头； 2—上模； 3—飞边槽； 4—下模； 5—模垫；  
6, 7, 10—紧固楔铁； 8—分模面； 9—模座

图 3-27 锤上锻模



# 模锻件

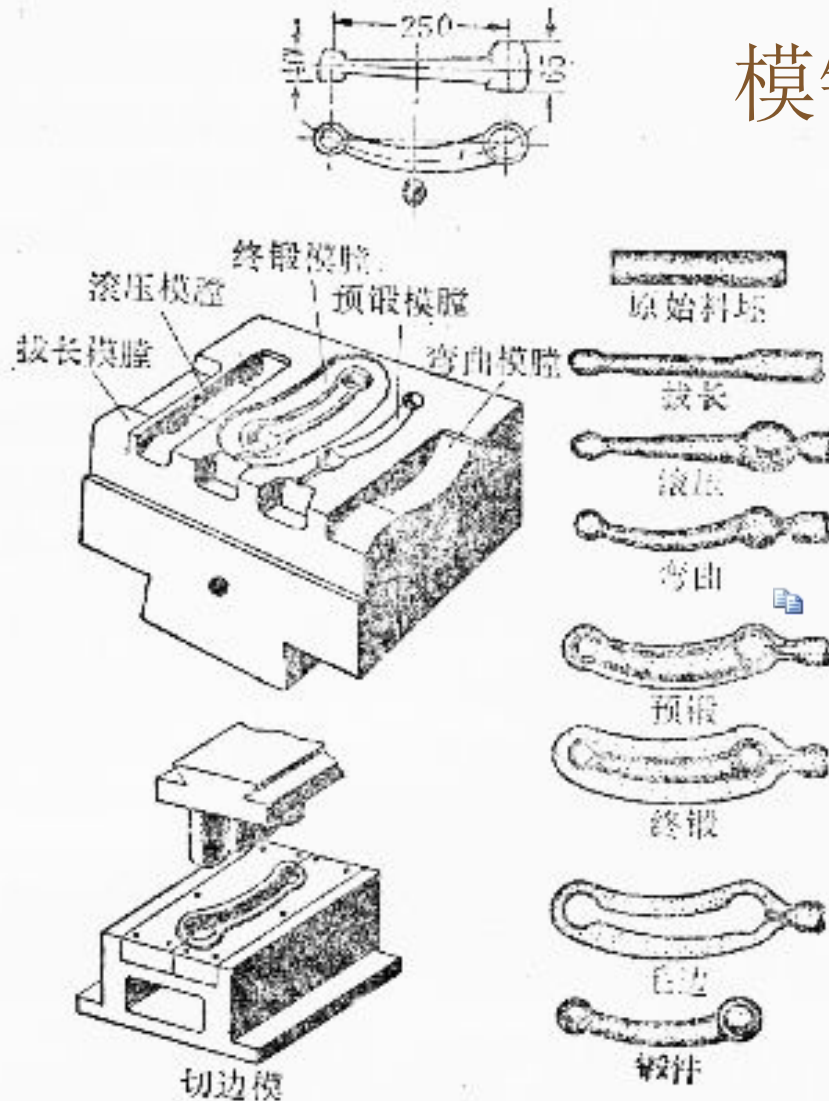
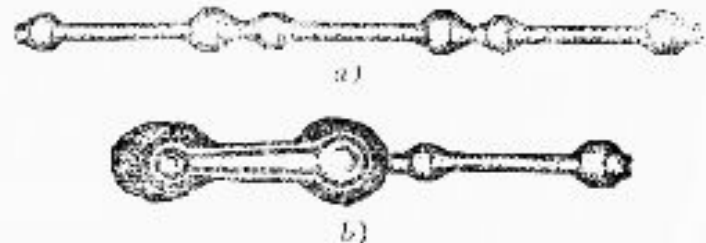


图 3-38 弯曲连杆锻造过程

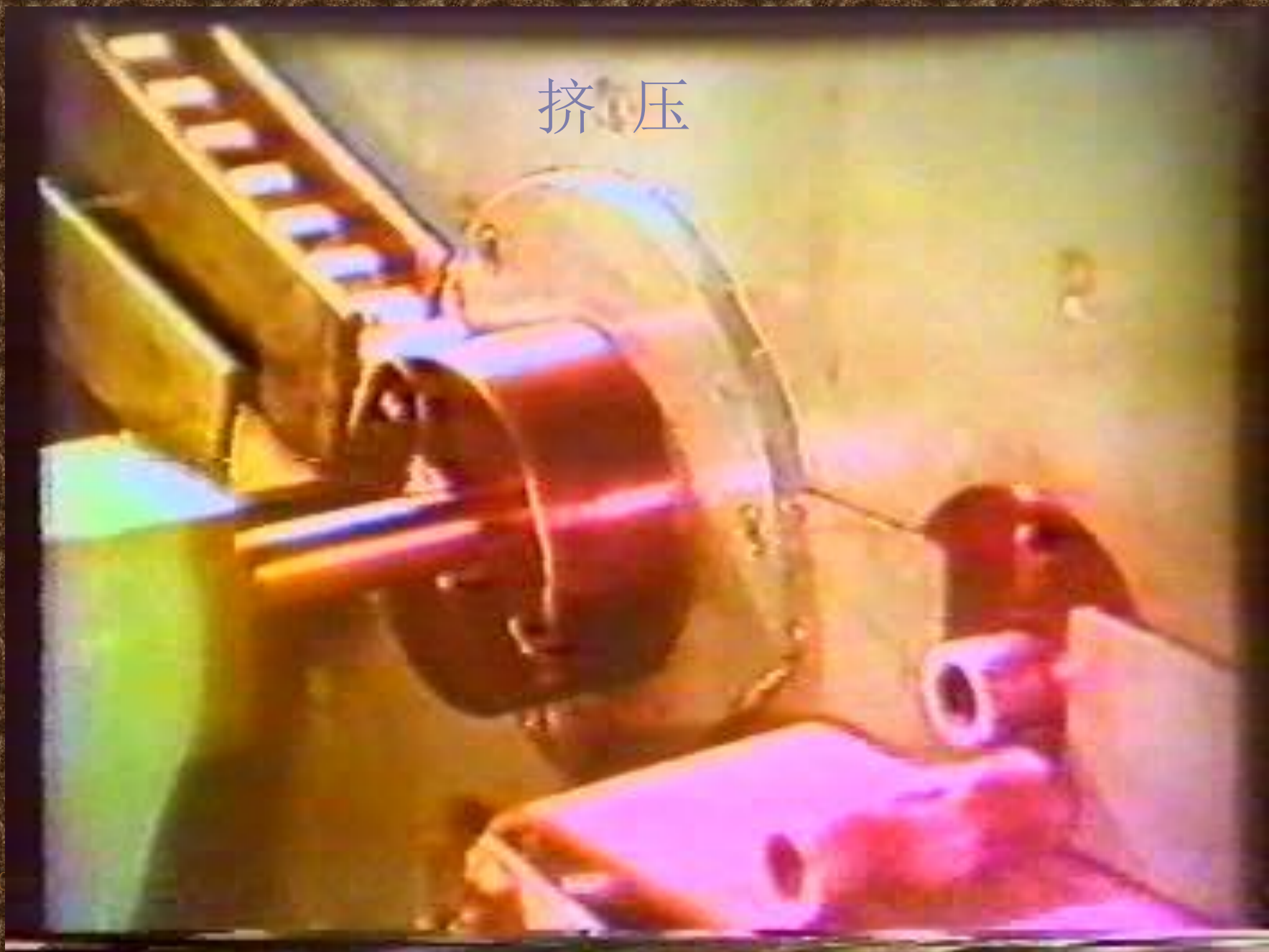


a) 周期轧制材料; b) 模锻后形状  
图 3-39 周期轧制材料模锻





# 挤压





# 轧制

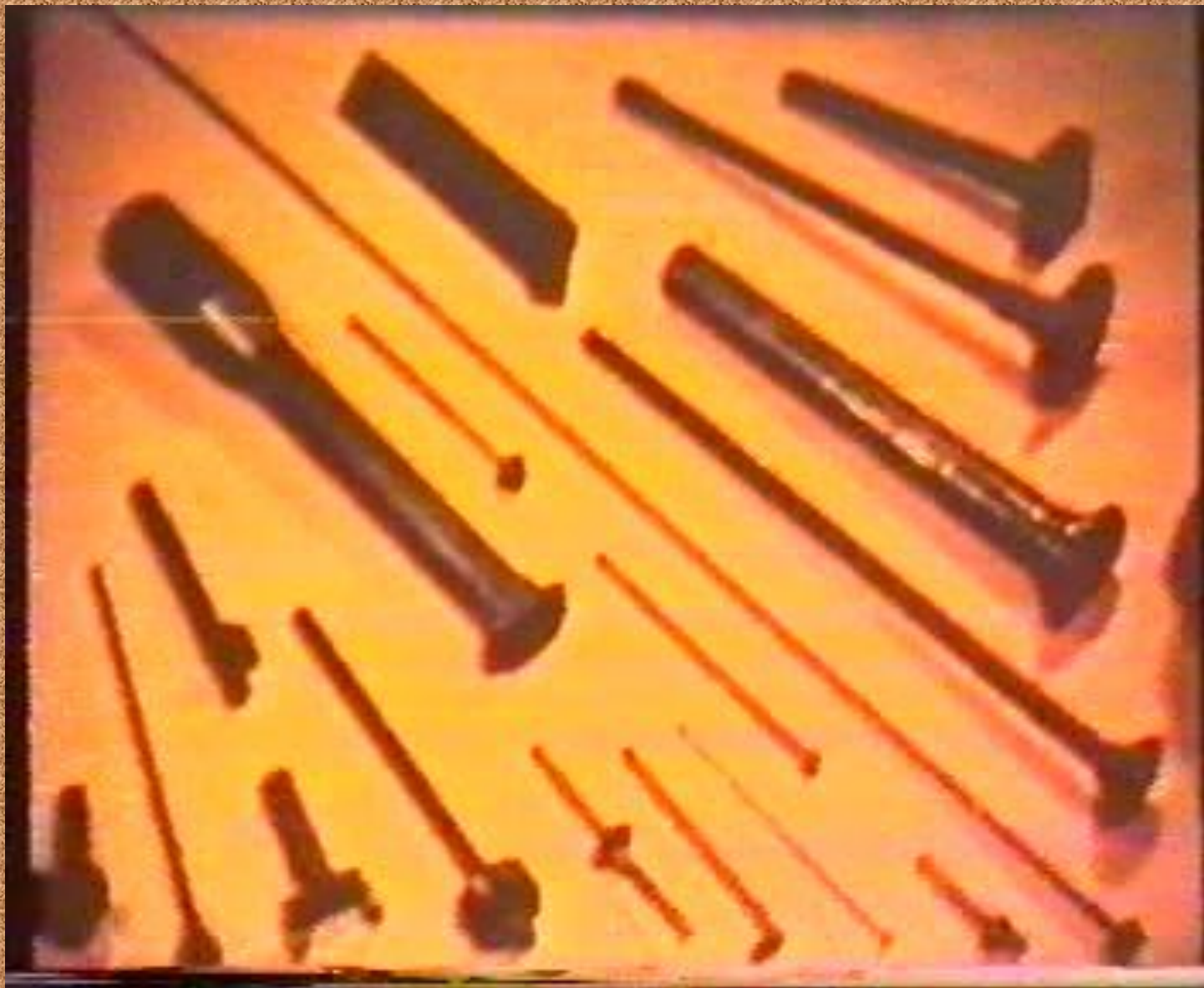


2015-6-5

# 斜 轧



# 模鍛件



2015-6-5

29





# 空气锤



2015-6-5

3.1 金属塑性变形的基本理论

30



# 冲压

