



武汉理工大学
wuhan university of technology

金属工艺学

多媒体课件



第三篇 金属压力加工



本篇主要内容

1 9 金属压力加工基础

2 10 常用的锻造方法

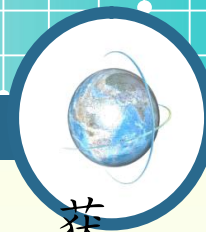
3 11 板料冲压

4 12 特种压力加工方法简介

本篇重点

- 1、了解金属塑性成型的理论基础；
- 2、掌握金属的塑性成型方法及工艺；
- 3、掌握薄板冲压成形工艺，包括各种成形模具结构、基本工序和典型零件的工艺制定。

概述



金属压力加工是指固态金属在外力作用下产生塑性变形，获得具有一定形状、尺寸和力学性能的原材料、毛坯或零件的生产方法，又称**金属塑性加工**。



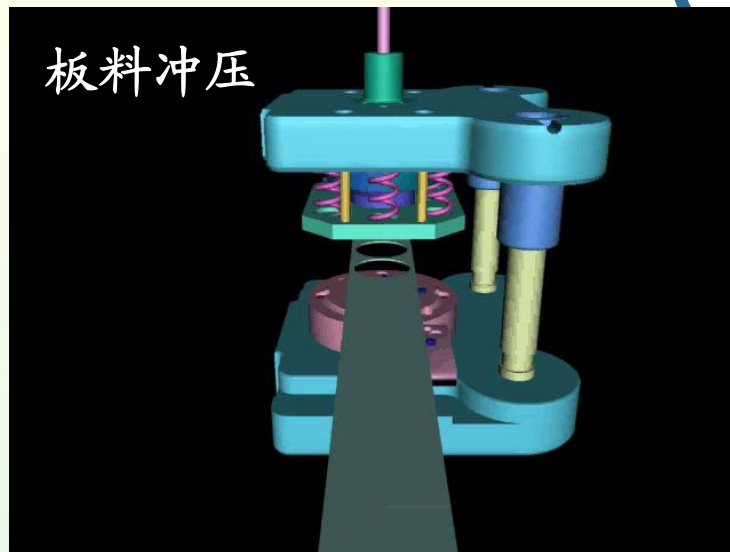
金属压力加工的基本方法



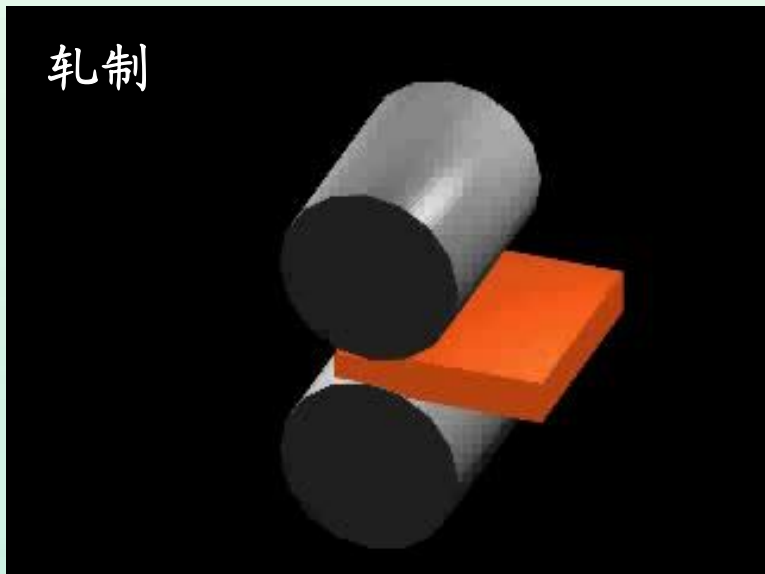
锻造



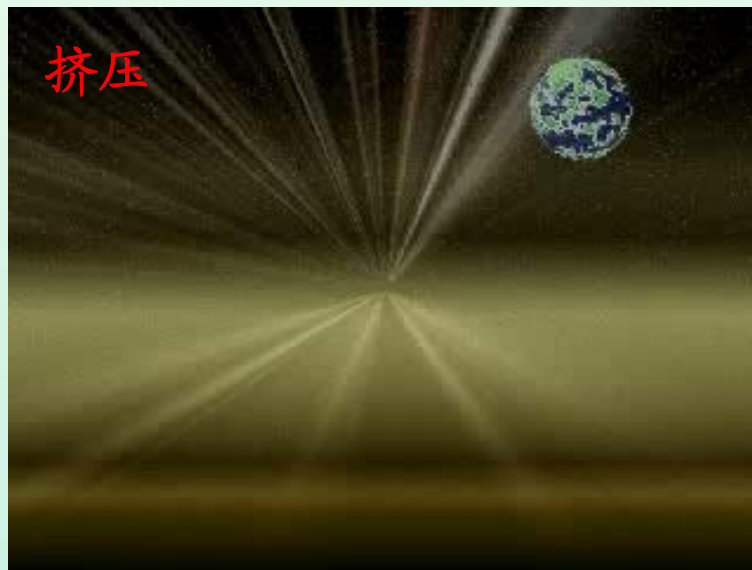
板料冲压



轧制



挤压



第九章 金属压力加工基础

本章主要内容

1 9.1 金属塑性变形的实质

2 9.2 塑性变形对金属组织和性能的影响

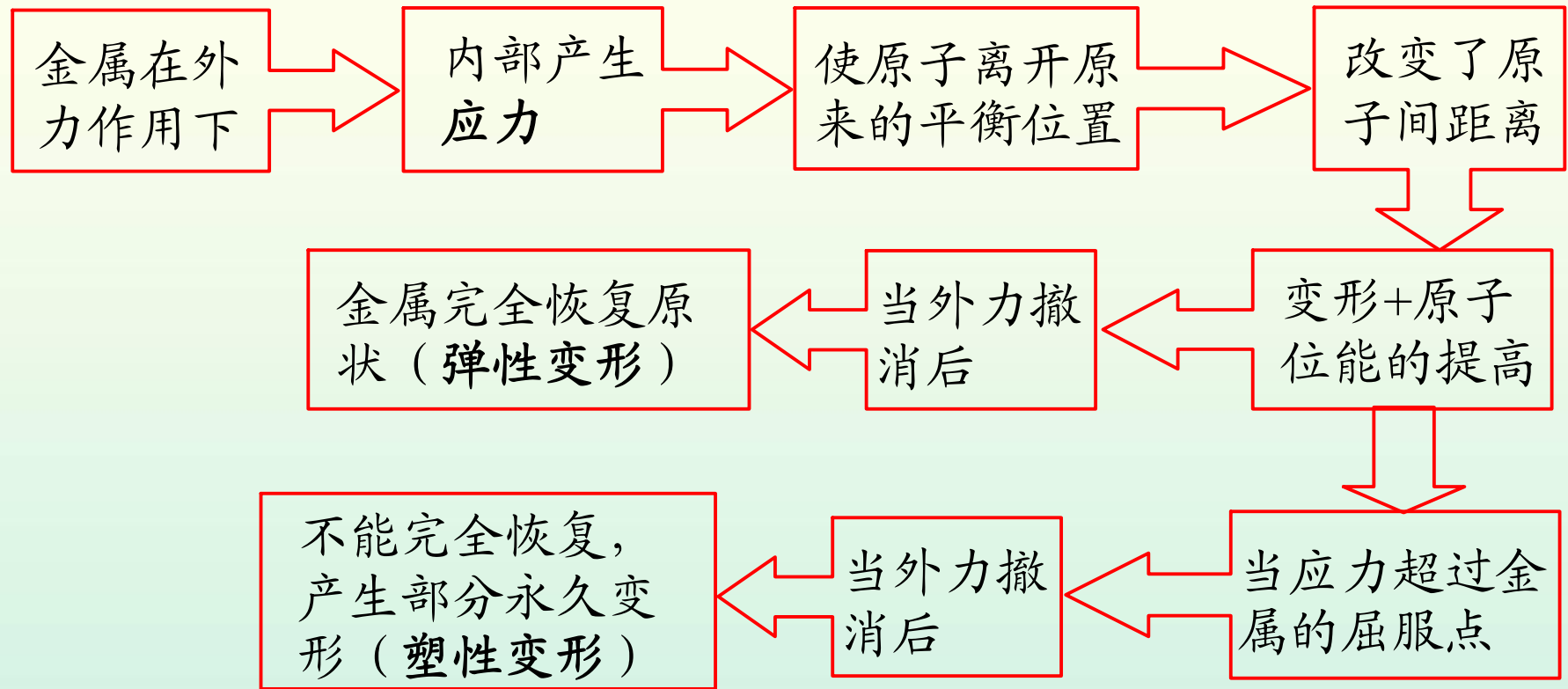
3 9.3 金属的可锻性

本章重点

- 1、金属塑性变形的实质；
- 2、纤维组织的形成及利用；
- 3、金属可锻性及其影响因素。

9.1 金属塑性变形的实质

一、金属的变形



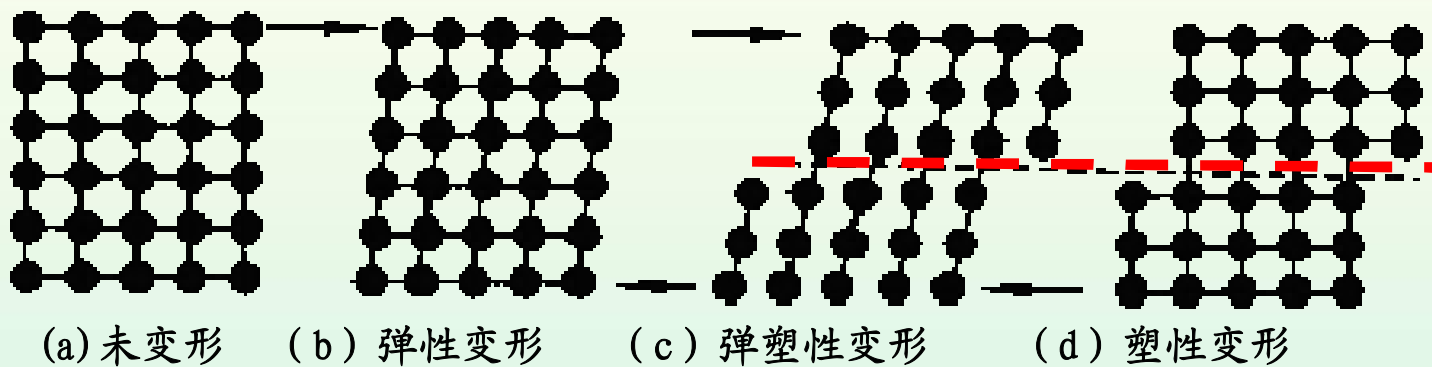
金属材料的塑性通常用伸长率 (δ) 和断面收缩率 (ψ) 来表示。

良好的塑性是金属材料进行压力加工的前提条件。

二、 金属塑性变形的实质

金属塑性变形的实质是晶体内部产生滑移的结果。

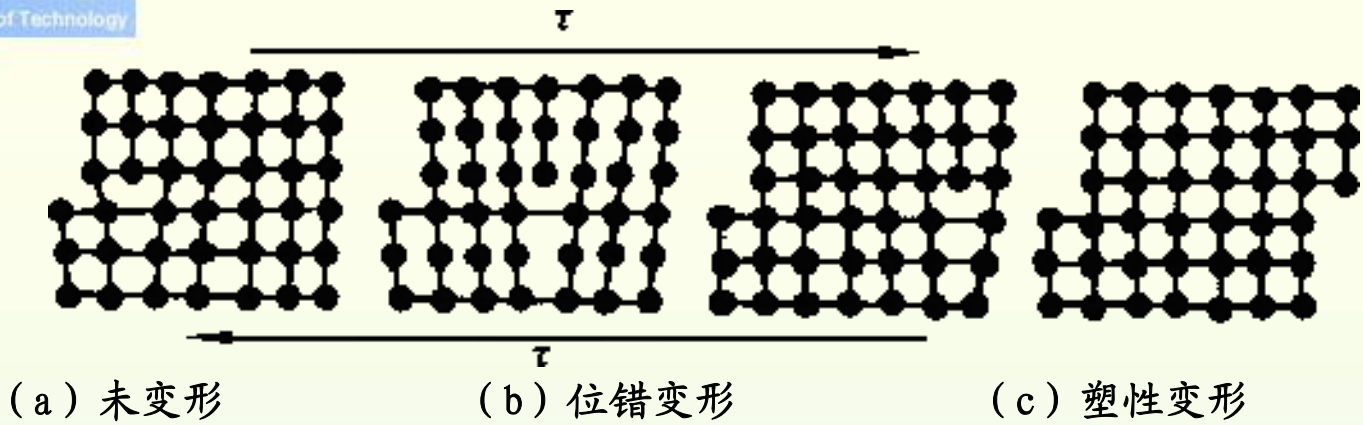
1、单晶体塑性变形



单晶体滑移变形示意图

以上滑移运动相当于滑移面上、下两部分晶体彼此以刚性整体作相对运动。

近代物理学证明，实际晶体内部存在大量缺陷，其中以**位错**对金属塑性变形的影响最为明显。

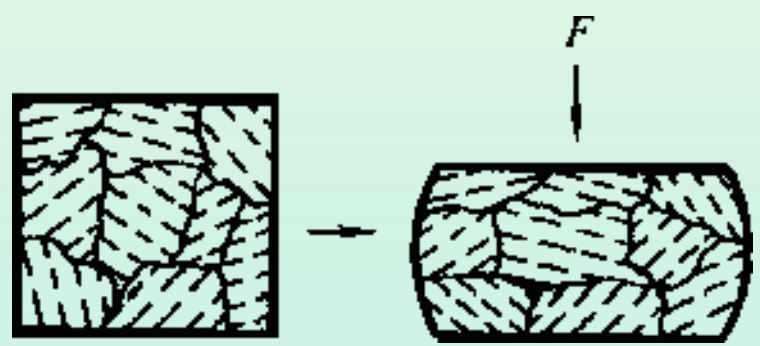


位错运动引起塑性变形示意图

2. 多晶体塑性变形

通常使用的金属材料大多数是多晶体，其塑性变形可以看成是由组成多晶体的许多单个晶粒产生变形（**晶内变形**）的综合效果。

同时，晶粒之间也有滑动和转动（**晶间变形**）。



多晶体塑性变形示意图

一. 金属塑性变形的实质

一般来说，同一成分的金属，晶粒越细，其强度、硬度越高，而且塑性和韧性也越好。（为什么？）

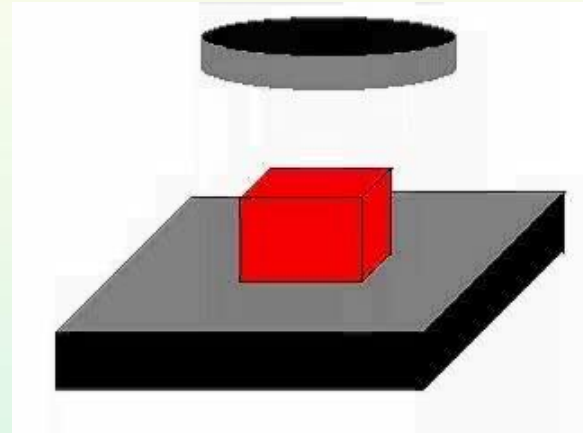
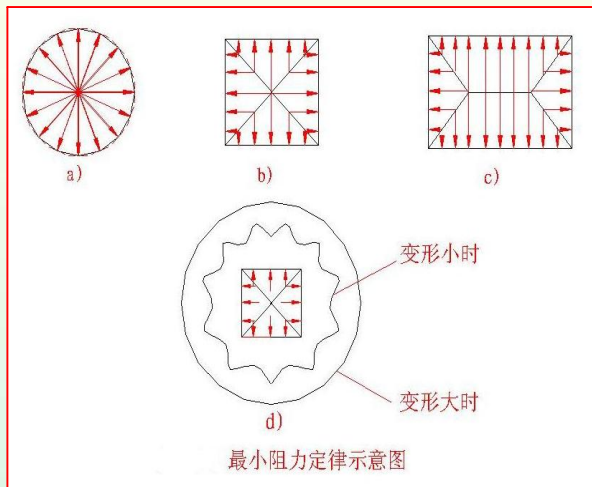
金属晶粒越细，晶界强化区越多，金属的强度越高，同时晶粒越细，晶粒间变形的不均匀性减小，变形的分散度越大，所以塑性也越好，故晶粒细，金属综合机械性能好。

金属内部有应力就会发生弹性变形，当应力增大到一定程度后使金属产生塑性变形。

三、 金属塑性变形的理论及假设

1、 最小阻力定律

在塑性变形过程中，如果金属质点有向几个方向移动的可能时，则金属各质点将向阻力最小的方向移动。



利用最小阻力定律可以推断，任何形状的物体只要有足够的塑性，都可以在平锤头下镦粗使坯料逐渐接近于圆形。这是因为在镦粗时，金属流动距离越短，摩擦阻力也越小。

2、 塑性变形前后体积不变的假设——变形前物体的体积等于变形后的体积。

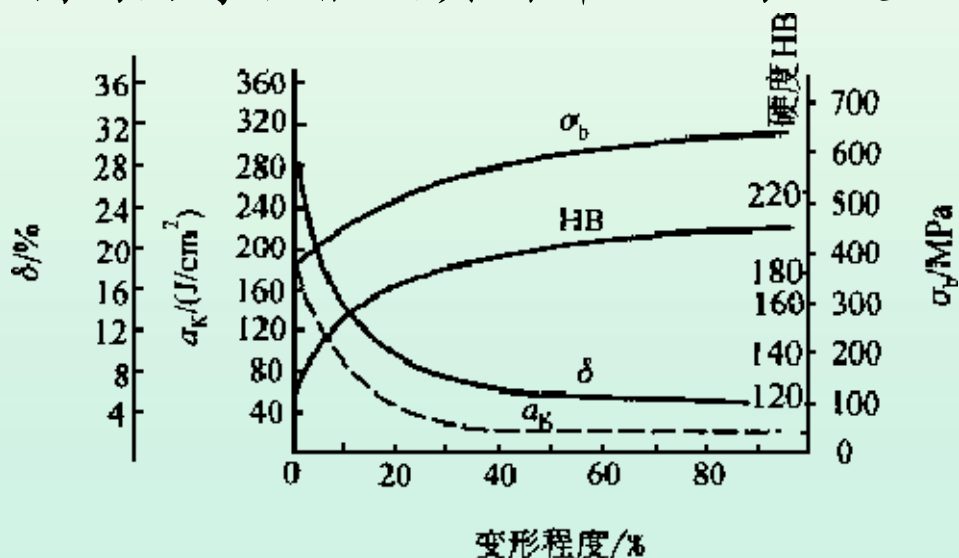
9.2 塑性变形对金属组织和性能的影响

9.2.1 金属的加工硬化与回复、再结晶

金属在**常温**下经过塑性变形后，内部组织将发生变化：

- ① 晶粒沿最大变形的方向伸长；
- ② 晶格与晶粒均发生扭曲，产生内应力；
- ③ 晶粒间产生碎晶。

金属的力学性能随其内部组织的改变而发生明显变化。



由于滑移面上的碎晶块和附近晶格的强烈扭曲，增大了滑移阻力，使继续滑移难以进行。

常温下塑性变形对低碳钢力学性能的影响

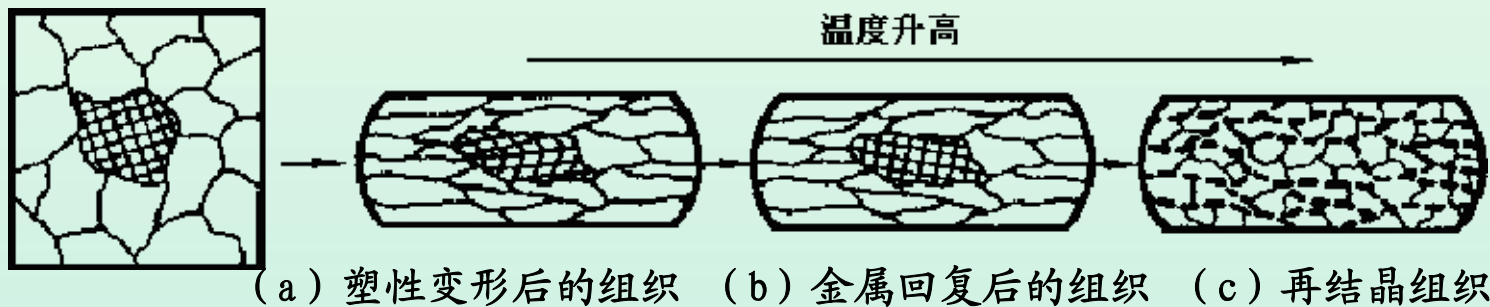
在冷变形时，随变形程度增大，金属材料的强度和硬度上升而塑性、韧性下降的现象称为冷变形强化，又称**加工硬化**。

加工硬化是一种不稳定现象，具有自发地回复到稳定状态的倾向。

当提高温度时，原子因获得热能，热运动加剧，使原子排列回复到正常状态，从而消除了晶格扭曲，致使加工硬化得到**部分**消除，这种现象称为**回复**。

回复不改变晶粒形状，这一温度称为回复温度，即

$$T_{\text{回}} = (0.25 \sim 0.3) T_{\text{熔}}$$



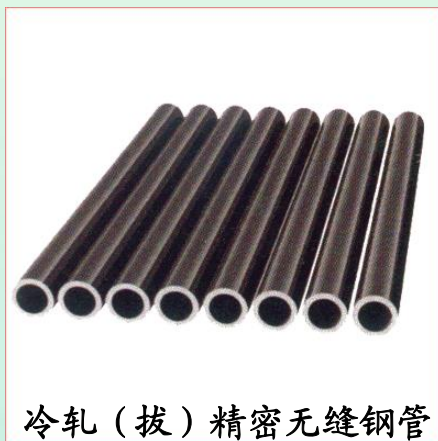
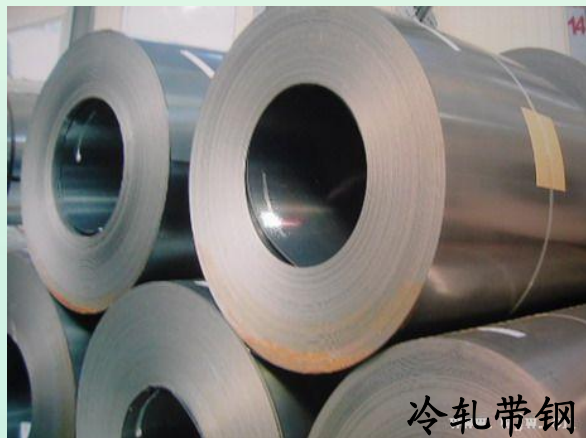
金属的回复和再结晶示意图

当温度继续升高到该金属熔点（绝对温度）的0.4倍时，金属原子获得更多的热能，开始以某些**碎晶或杂质**为核心，按变形前的晶格结构结晶成新的晶粒，这一过程称为**再结晶**。

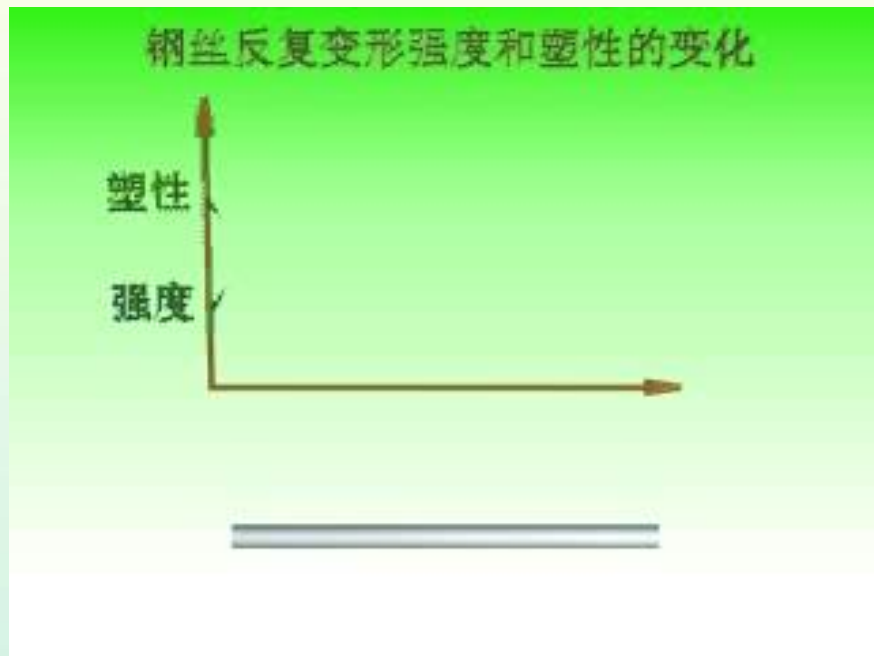
再结晶可以**完全**消除塑性变形所引起的冷变形强化，并使晶粒细化，改善力学性能。

$$\text{再结晶温度 } T_{\text{再}} = 0.4 T_{\text{熔}}$$

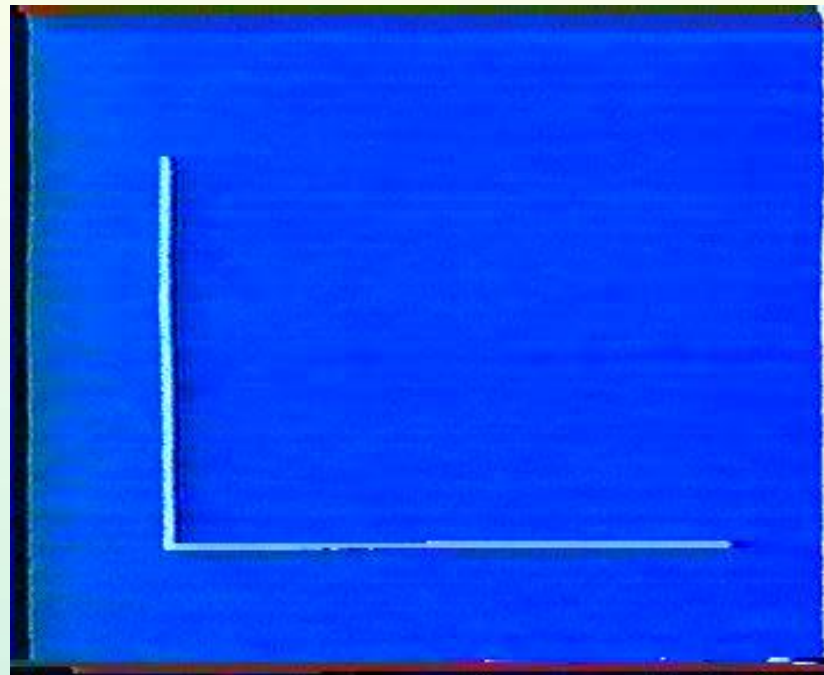
利用金属的加工硬化可提高金属的强度和硬度，这是工业生产中强化金属材料的一种重要手段，尤其是一些不能通过热处理方法强化的金属，可以通过**冷轧**，**冷挤压**，**冷拔**和**冷冲压**方法，在变形的同时提高其强度和硬度。



但在压力加工生产中，加工硬化给金属继续进行塑性变形带来困难，应加以消除。在实际生产中，常采用加热的方法使金属发生再结晶，从而再次获得良好塑性。这种工艺操作称为再结晶退火。



钢丝反复变形强度和塑性的变化



加工硬化与再结晶

9.2.2 冷变形与热变形

由于金属在不同温度下变形对其组织和性能的影响不同，因此金属的塑性变形分为**冷变形**和**热变形**两种。

一、冷变形

在再结晶温度以下的变形叫**冷变形**。

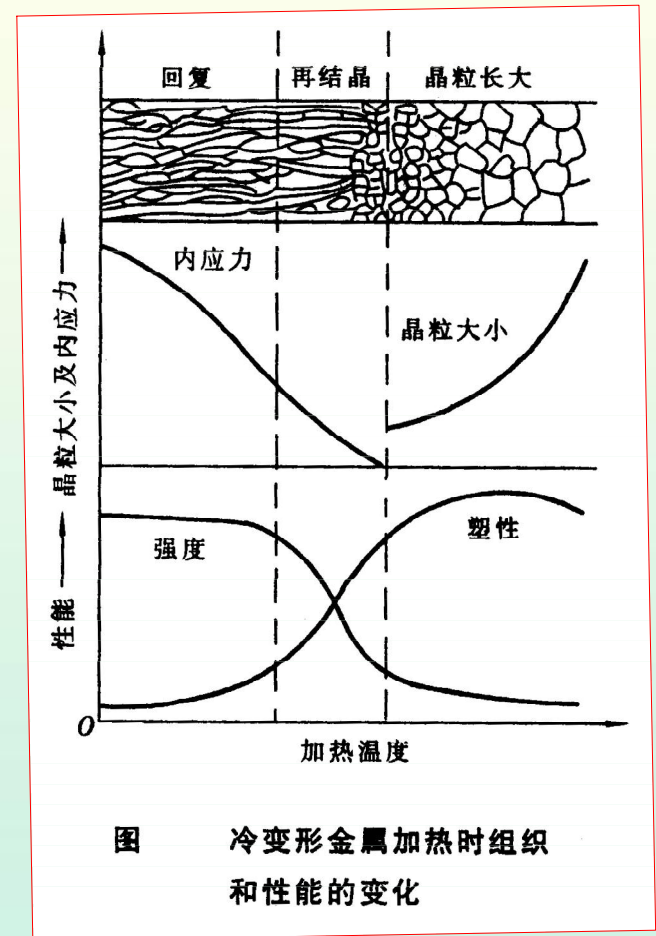
变形过程中无再结晶现象，变形后的金属具有加工硬化现象，所以冷变形的变形程度一般不宜过大，以避免产生破裂。

工业生产中的板料冲压、冷轧、冷拔、冷挤压都属于冷变形。

二、热变形

在再结晶温度以上的变形叫**热变形**。

热变形时加工硬化和再结晶现象会同时出现，不过加工硬化过程随时被再结晶过程消除。所以变形后具有再结晶组织，无加工硬化现象。



9.2.3 纤维组织变化

金属压力加工生产采用的最初坯料是铸锭。

将铸锭加热进行压力加工后，由于金属经过塑性变形及再结晶，从而改变了粗大的铸造组织，获得细化的再结晶组织。



变形前原始组织



变形后纤维组织

铸锭在压力加工中产生塑性变形时，基体金属的晶粒形状和沿晶界分布的杂质形状都发生了变形，它们都将沿着**变形方向**被拉长，呈纤维形状。这种结构叫**纤维组织**。

纤维组织使金属在性能上**具有了方向性**。纤维组织越明显，金属在纵向(平行纤维方向)上塑性和韧性提高，而在横向(垂直纤维方向)上塑性和韧性降低。

纤维组织的明显程度与金属的变形程度有关。

变形程度越大，纤维组织越明显。压力加工过程中，常用**锻造比** (y) 来表示变形程度。

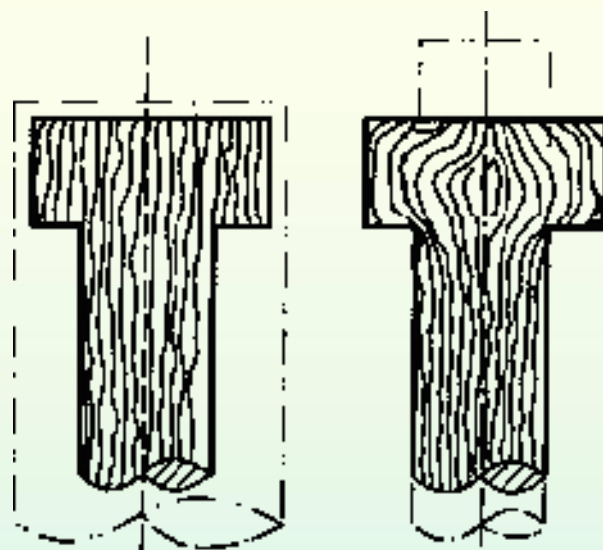
拔长时的锻造比为 $y_{\text{拔}} = A_0 / A$

镦粗时的锻造比为 $y_{\text{镦}} = H_0 / H$

纤维组织的稳定性很高，不能用热处理方法加以消除，只有经过锻压使金属变形，才能变其方向和形状。

纤维组织的利用原则：

- ▶ 使纤维分布与零件的轮廓相符合而不会被切断；
- ▶ 使零件所受的最大拉应力与纤维方向一致，最大切应力与纤维方向垂直。



(a) 切削加工制造的螺钉 (b) 局部镦粗制造的螺钉



9.3 金属的可锻性

金属的**可锻性**是指材料在锻造过程中经受塑性变形而不开裂的能力。

可锻性常用金属的**塑性**和**变形抗力**来综合衡量。塑性越好，变形抗力越小，则金属的可锻性好。反之则差。

金属的可锻性取决于**金属的本质**（内因）和**加工条件**（外因）。

9.3.1 金属的本质（内因）

1、化学成分的影响

纯金属的可锻性比合金的可锻性好。

钢中合金元素含量越多，合金成分越复杂，其塑性越差，变形抗力越大。

例如纯铁、低碳钢和高合金钢，它们的可锻性是依次下降的。

2、金属组织的影响

纯金属及单一固溶体组成的合金（如奥氏体）的可锻性好；碳化物（如渗碳体）的可锻性差。

铸态柱状组织和粗晶粒结构不如晶粒细小而又均匀组织的可锻性好。

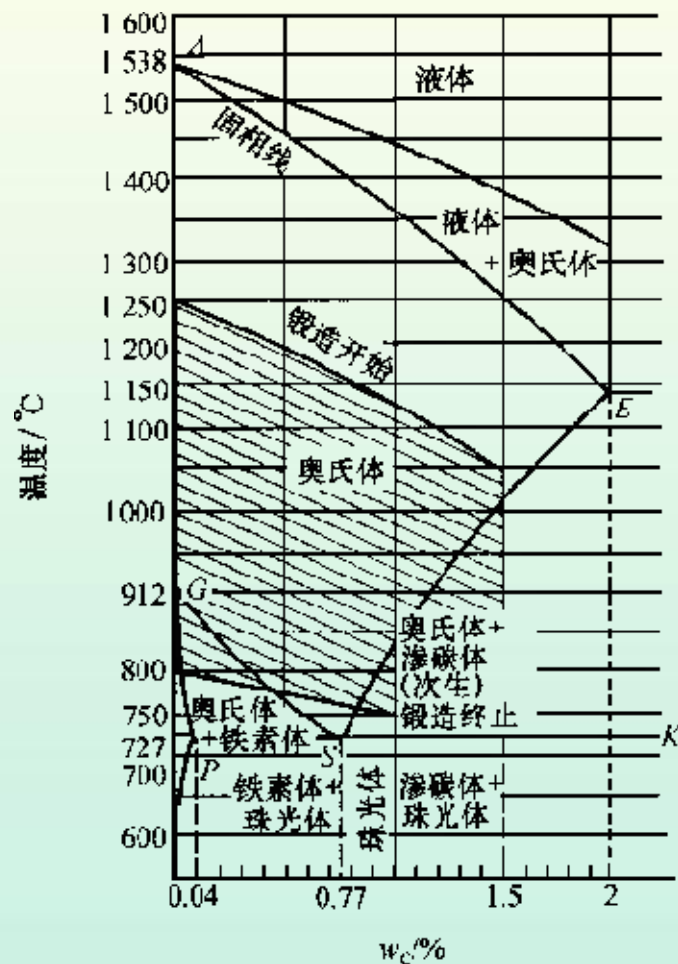
9.3.2 加工条件（外因）

一、变形温度的影响

在一定的变形温度范围内，随着温度升高，原子动能升高，从而塑性提高，变形抗力减小，有效改善了可锻性。

若加热温度过高，晶粒急剧长大，金属力学性能降低，这种现象称为“**过热**”。若加热温度更高接近熔点，晶界氧化破坏了晶粒间的结合，使金属失去塑性，坯料报废，这一现象称为“**过烧**”。

锻造温度范围系指**始锻温度**（开始锻造的温度）和**终锻温度**（停止锻造的温度）间的温度区间。



二、变形速度的影响

变形速度即单位时间的变形程度，它对可锻性的影响是矛盾的。

一方面由于变形速度的增大，回复和再结晶不能及时克服加工硬化现象，金属则表现出塑性下降、变形抗力增大，可锻性变坏。

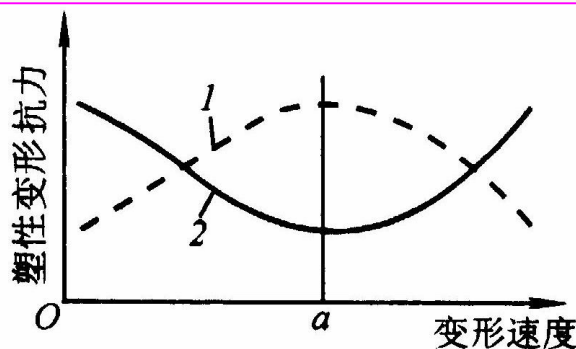


图 变形速度对塑性及
变形抗力的影响

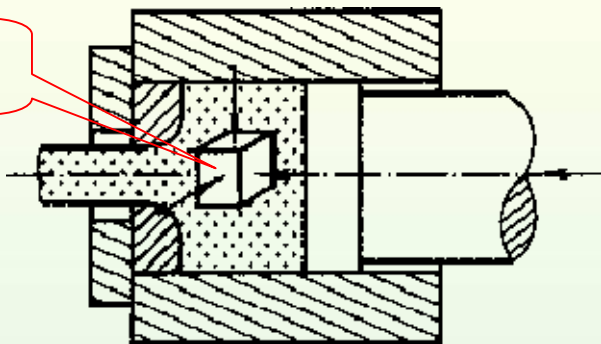
1—变形抗力曲线；2—塑性变化曲线

另一方面，金属在变形过程中，消耗于塑性变形的能量有一部分转化为热能，使金属温度升高(称为热效应现象)。变形速度越大，热效应现象越明显，使金属的塑性提高、变形抗力下降，可锻性变好。

三、应力状态的影响

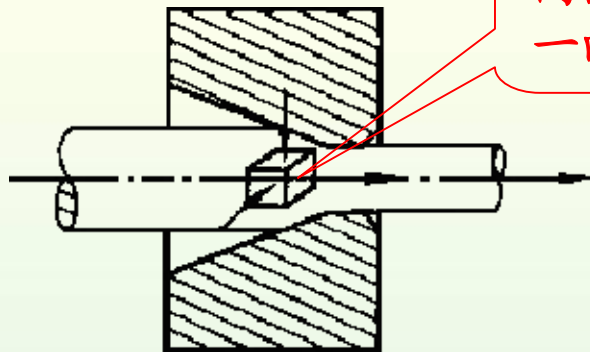
金属在经受不同方法变形时，所产生的应力性质（压应力或拉应力）和大小是不同的。

三向受压



挤压时金属应力状态

两向受压
一向受拉



拉拔时金属应力状态

实践证明：三个方向的应力中，压应力的数目越多，则金属的塑性越好；拉应力的数目越多，则金属的塑性越差。

但压应力使金属内部摩擦阻力增大，变形抗力亦随之增大，所以拉拔加工比挤压加工省力。

因此，在选择加工方法时，应考虑应力状态对金属可锻性的影响。

对于本质塑性较好的金属，变形时出现拉应力是有利的。对于本质塑性较差的金属，则应尽量在三向压应力下变形，以免产生裂纹。

思考题



1. 纤维组织是怎样形成的?它对金属的力学性能有何影响?
2. 试分析用棒料切削加工成形和用棒料冷镦成形制造六角螺栓的力学性能有何不同?