



山东交通学院

塑性变形对组织和性能的影响

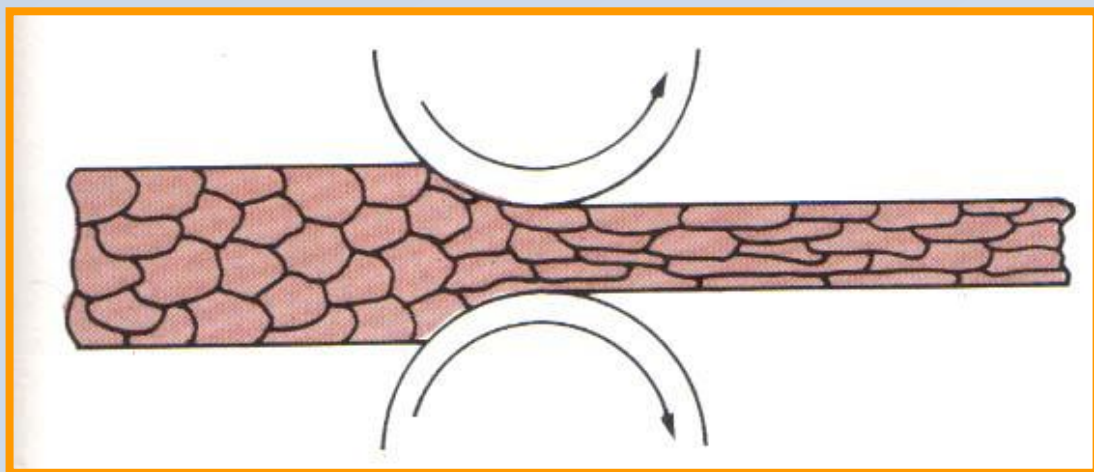
主讲教师：吕文香

轮机
工程材料

金属在冷塑性变形时，其内部晶粒发生以下变化：

☑ 晶粒变形

- ❑ 金属经塑性变形后，内部晶粒的形状也会随之发生变化。例如，拉拔时晶粒随工件的变形而变长变细；在轧制时，晶粒逐渐变为扁平状，甚至变为薄片状。当变形程度很大，晶粒可拉长成为线条状或纤维状，晶界变得模糊不清。



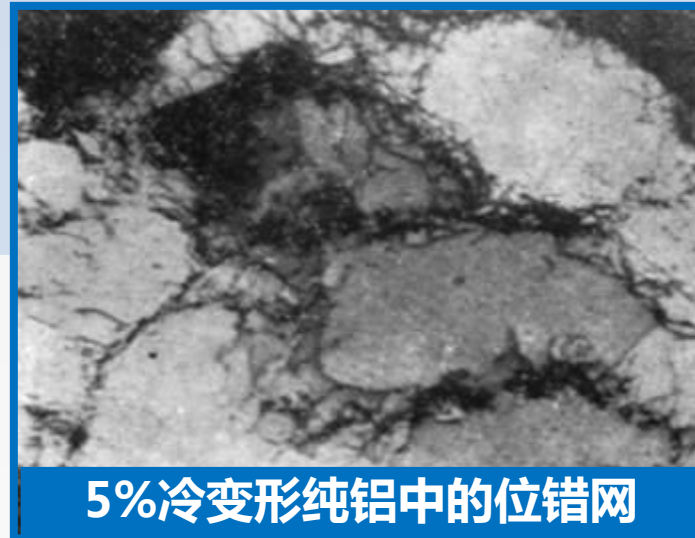
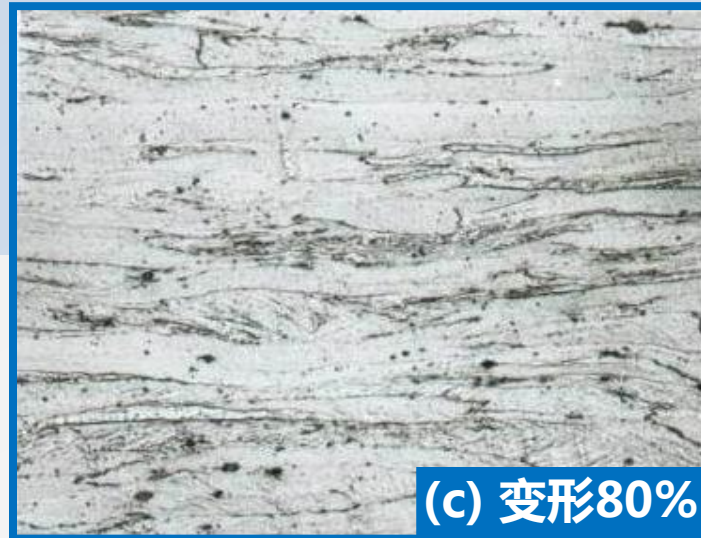
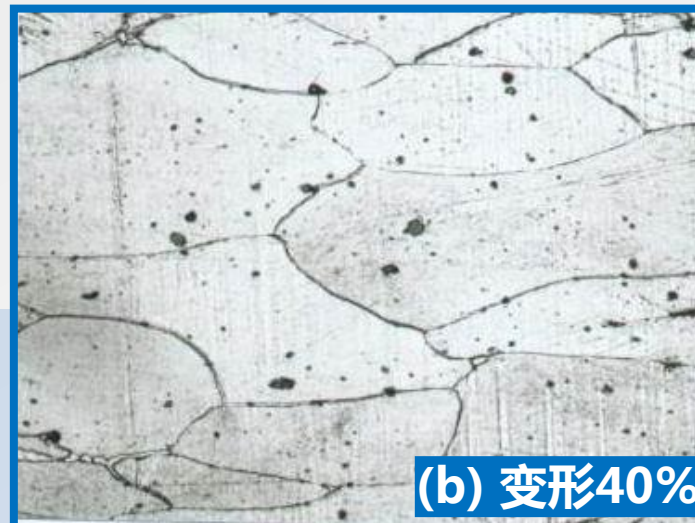
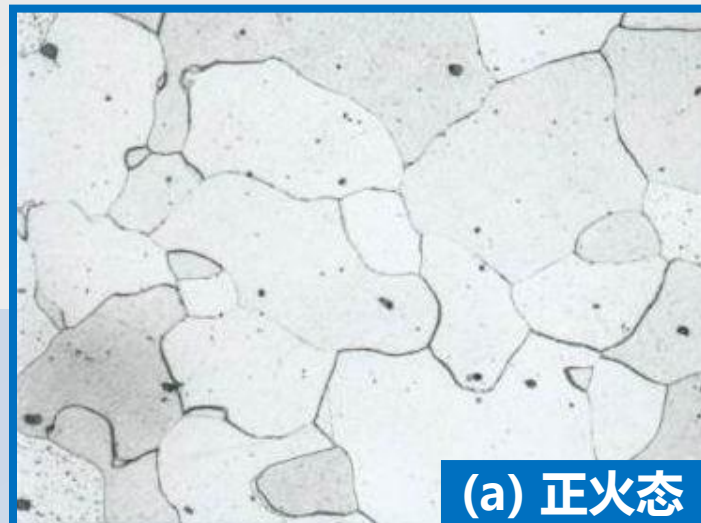
塑性变形还使晶粒破碎为亚晶粒。

塑性变形对组织结构的影响



山东交通学院

工业纯铁在塑性变形前后的组织变化



☑ 晶粒“破碎”

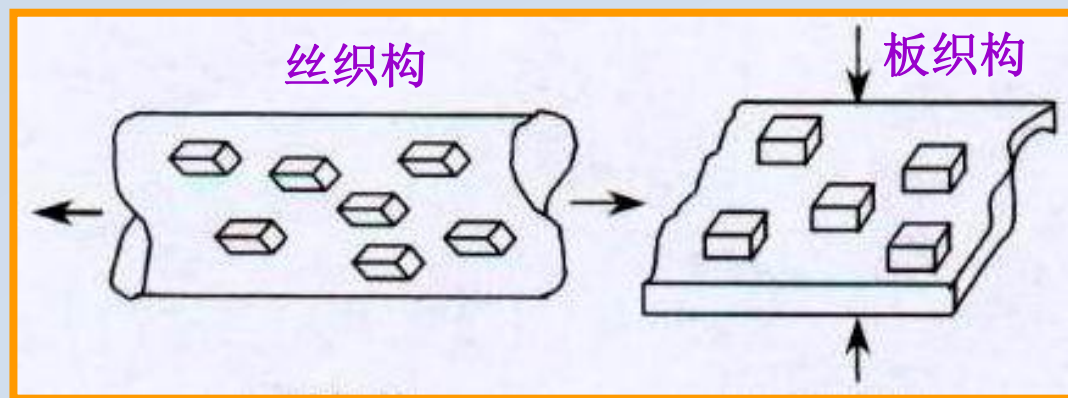
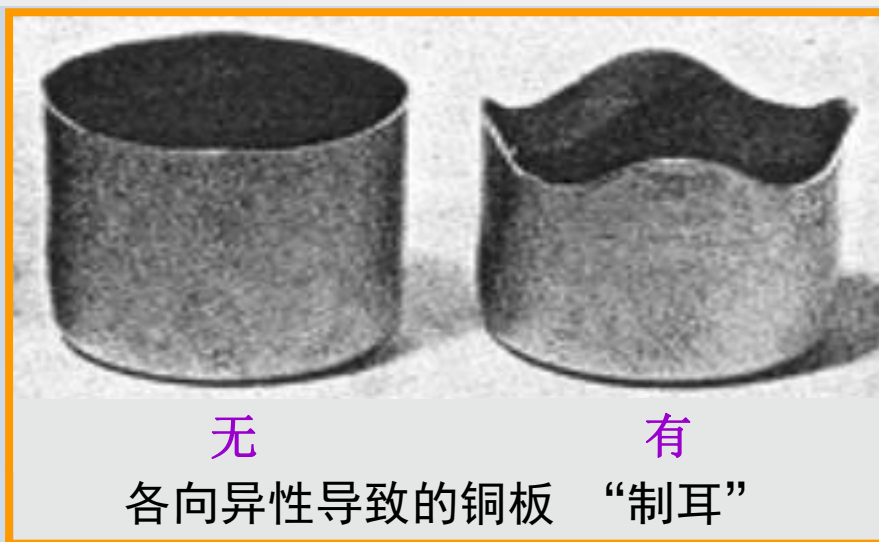
- ❑ 塑性变形不仅使晶粒形状发生变化，并且使晶粒内部产生大量晶体缺陷，如空位、间隙原子，特别是位错。
- ❑ 本来在未变形的晶粒内就存在着大量位错，严重的塑性变形后，位错大量增加。
- ❑ 由于位错密度激增，分布又极无规则，便产生位错与位错、位错与其他晶体缺陷之间复杂的交互作用，以致造成晶粒“破碎”，即由一个晶粒变成数个位向差为 1° 左右的小晶块，即亚晶粒或变形亚结构。变形程度越大，变形亚晶粒越小。

☑ 晶粒方位趋于一致

- ❑ 当金属的变形程度相当大时（达70%以上），由于金属晶粒在变形过程中会发生转动，使得原来各不相同的方位逐渐趋于一致，这种现象称为“**择优取向**”，形成的组织称为变形组织，冷拉后形成的组织称为丝组织，冷轧后形成的组织称为板组织。
- ❑ 形变组织使金属产生明显的各向异性，不利于金属的使用，仅在个别场合如制造硅钢片上采用组织，可使铁损大大减小，提高变压器的效率。
- ❑ 组织形成后难以消除，生产中应避免产生。

☑ 晶粒方位趋于一致

- ❑ 图示由于晶粒的转动，当塑性变形达到一定程度时，会使绝大部分晶粒的某一位向与变形方向趋于一致，这种现象称织构或择优取向。
- ❑ 形变织构使金属呈现各向异性，在深冲零件时，易产生“制耳”现象，使零件边缘不齐，厚薄不匀。但织构可提高硅钢片的导磁率。

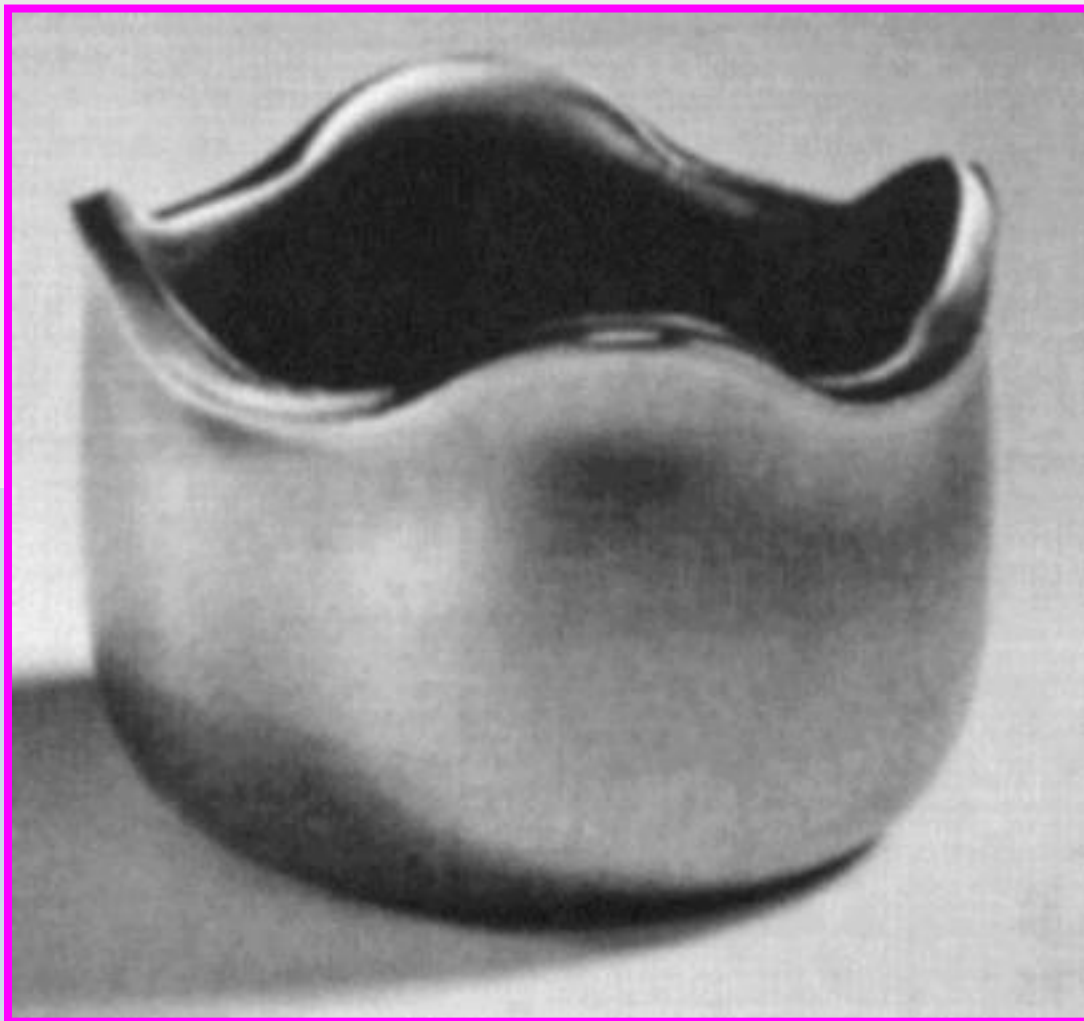


形变织构示意图

塑性变形对组织结构的影响



山东交通学院



轧制铝板的“制耳”现象

☑ 加工硬化

- 金属在塑性变形后，使其强度和硬度显著提高，韧性和塑性下降的现象称为加工硬化或形变强化。
- 加工硬化是由于塑性变形使金属晶格歪扭、晶粒破碎、位错密度增加，使滑移困难和位错受阻，使金属的抗变形能力增加，从而使金属的强度、硬度增加，韧性、塑性下降。
- 加工硬化具有重要的使用意义。不仅是重要的强化金属的手段，尤其适用那些不能够热处理强化的金属和合金，而且可保证零件部件的安全使用，防止因瞬间超载引发的突然断裂。

塑性变形对金属性能的影响

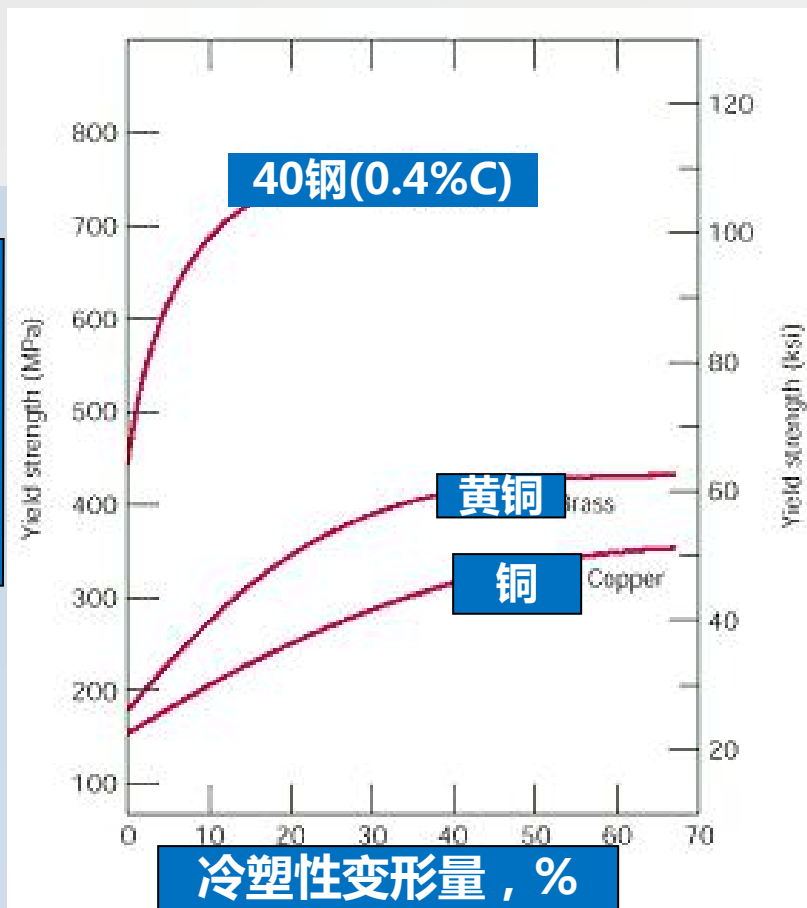


山东交通学院

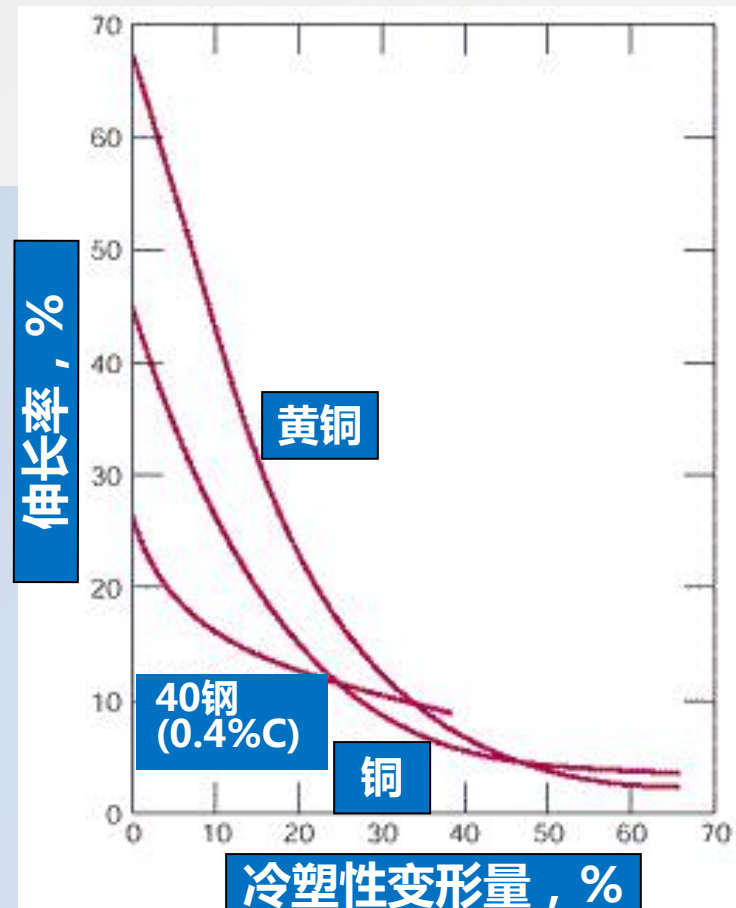
☑ 加工硬化

随冷塑性变形量增加，金属的强度、硬度提高，塑性、韧性下降的现象称**加工硬化**。

屈服强度, MPa



伸长率, %



图示铜、黄铜、40钢加工硬化

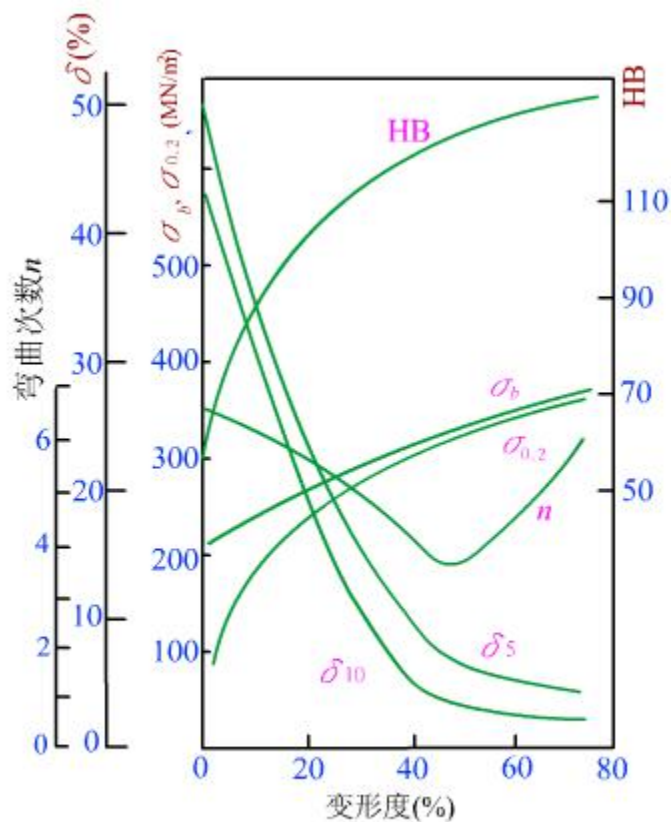
塑性变形对金属性能的影响



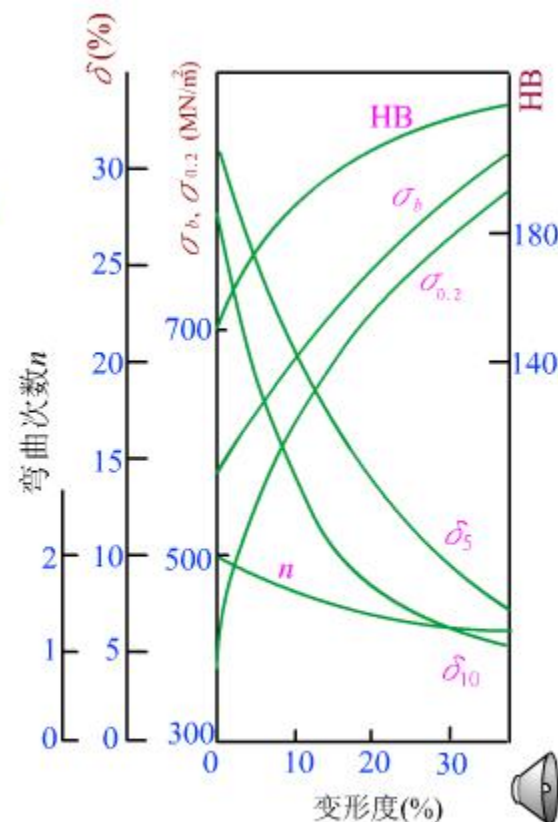
山东交通学院

☑ 加工硬化

冷塑性变形与性能关系



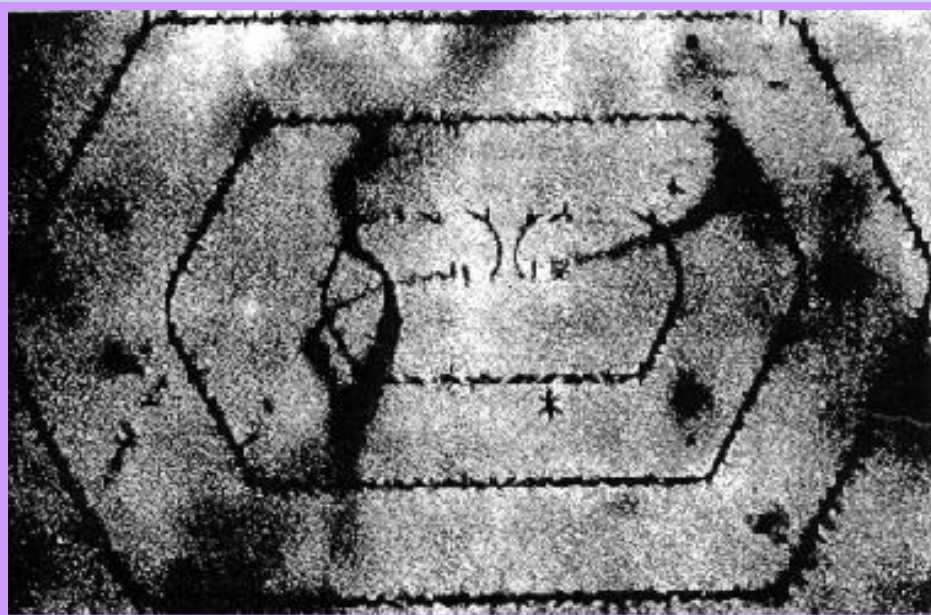
(a) 工业纯铜



(b) 45#钢

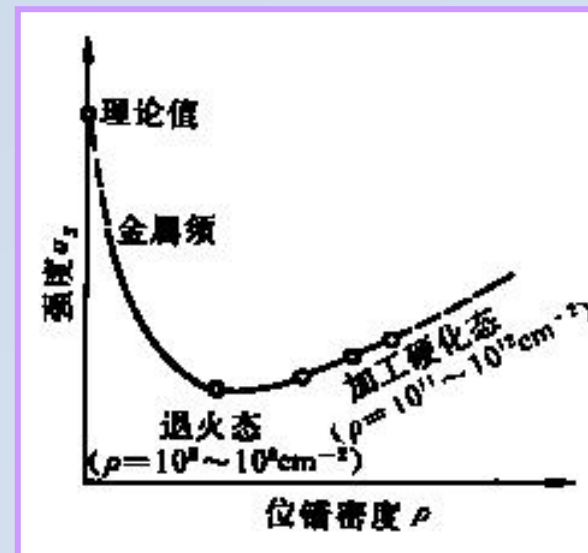
☑ 产生加工硬化的原因

- 随变形量增加，位错密度增加，由于位错之间的交互作用（堆积、缠结），使变形抗力增加。



Si中的位错源

↑
晶体中的位错源
←

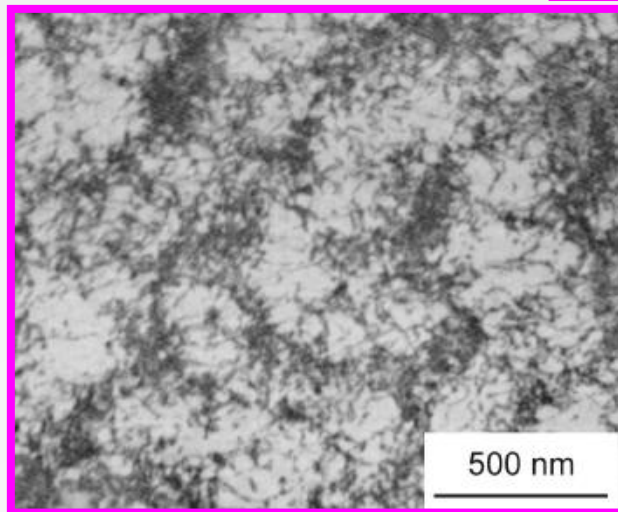
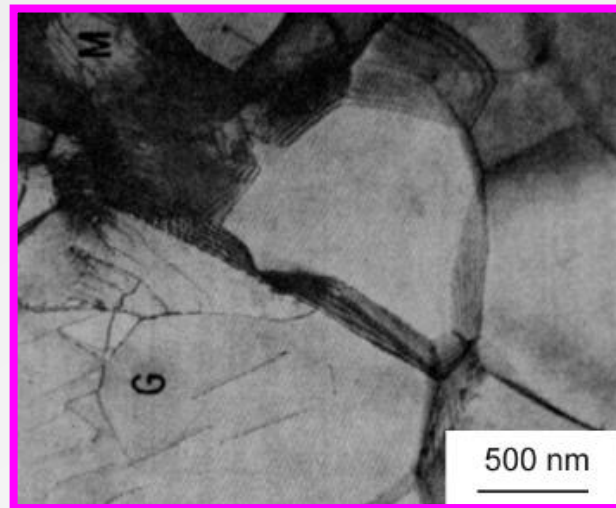


位错密度与强度关系

☑ 产生加工硬化的原因

- ❑ 随变形量增加，亚结构细化。
- ❑ 随变形量增加，空位密度增加。
- ❑ 几何硬化：由晶粒转动引起。
- ❑ 由于加工硬化，使已变形部分发生硬化而停止变形，而未变形部分开始变形。没有加工硬化，金属就不会发生均匀塑性变形。
- ❑ 加工硬化是强化金属的重要手段之一，对于不能热处理强化的金属和合金尤为重要。

未变形纯铁



变形20%纯铁中的位错

☑ 各向异性

多晶体金属是各向同性的，但经塑性变形后晶粒呈纤维状，故使金属性能也产生了方向性。沿纤维方向的强度和塑性大于垂直纤维方向的性能。变形越大，形成织构的金属具有更明显的各向异性。

☑ 理化性能的变化

塑性变形对金属的物理、化学性能也有很大影响，例如可使电阻增加，耐腐蚀性降低等。

☑ 残余内应力

□ 内应力是指平衡于金属内部的应力。是由于金属受力时，内部变形不均匀而引起的。金属发生塑性变形时，外力所做的功只有10%转化为内应力残留于金属中。

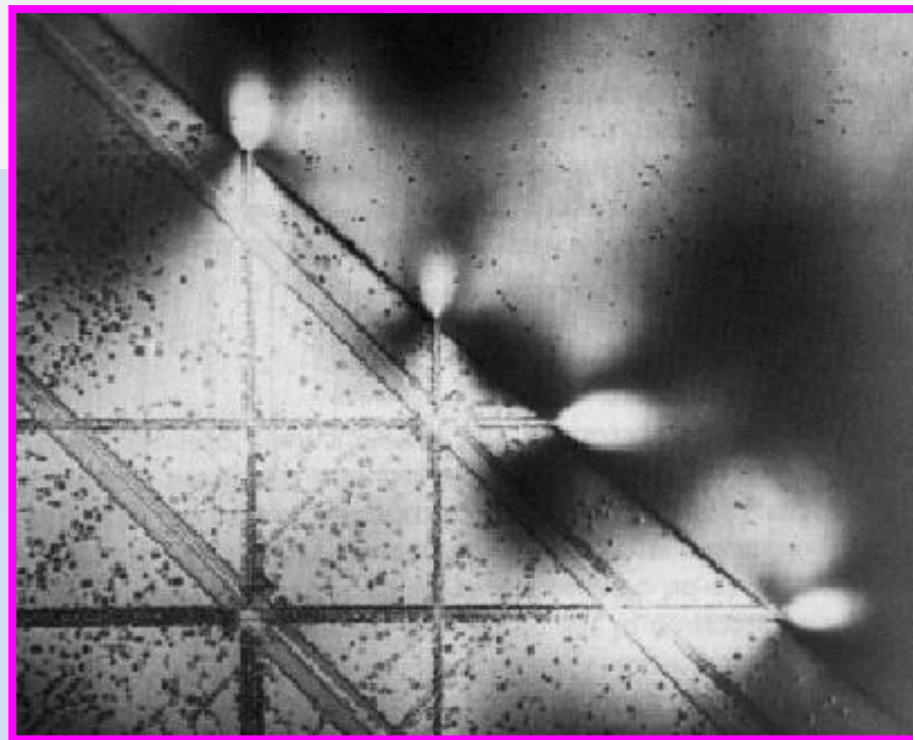
□ 内应力分为三类：

- 第一类内应力平衡于表面与心部之间（宏观内应力）。
- 第二类内应力平衡于晶粒之间或晶粒内不同区域之间，（微观内应力）。
- 第三类内应力是由晶格缺陷引起的畸变应力。

☑ 残余内应力

□ 第三类内应力是形变金属中的主要内应力，也是金属强化的主要原因。而第一、二类内应力都使金属强度降低。

□ 内应力的存在，使金属耐蚀性下降，引起零件加工、淬火过程中的变形和开裂。因此，金属在塑性变形后，通常要进行退火处理，以消除或降低内应力。



晶界位错塞积所引起的应力集中



| 山东交通学院

谢 谢 观 看

Thanks for watching!

轮机
工程材料