

## 第三章第七节

# 塑性变形对材料组织和性能的影响

《材料科学基础》 第九章第五节

---

# 一、冷变形金属的组织与结构

## 组织特点:

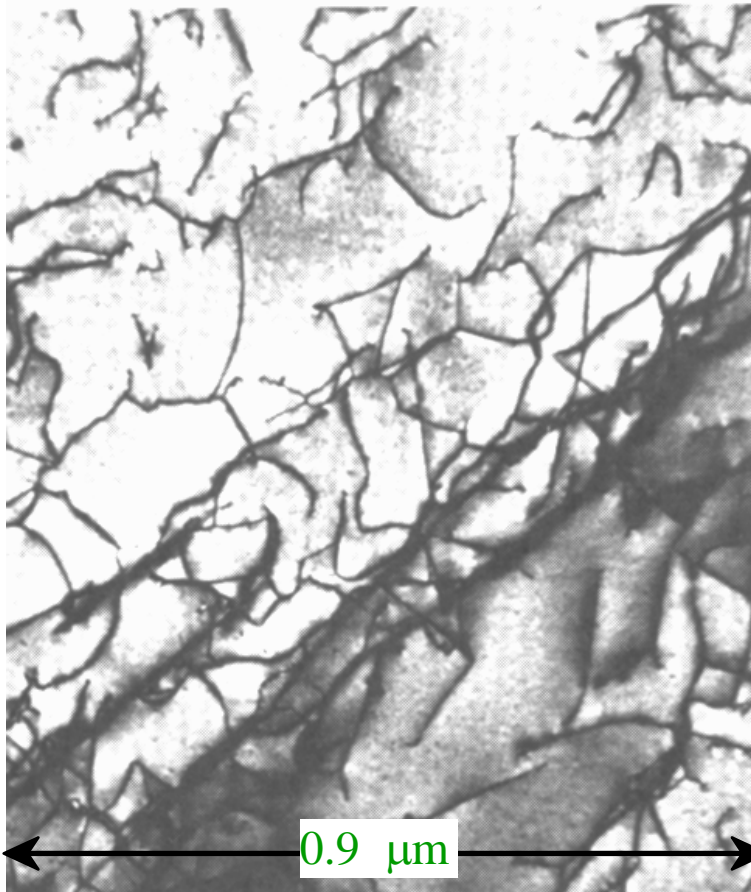
晶粒沿变形方向被拉长，晶界甚至拉长呈纤维状；硬质颗粒或夹杂沿变形方向呈带状分布——各向异性

## 结构特点:

缺陷（空位、位错）密度增加（可增加 $10^4$ 数量级以上）；位错组态发生变化：位错线—缠结—位错胞

# DISLOCATIONS DURING COLD WORK

- Ti alloy after cold working:



- **Dislocations entangle with one another during cold work.**
- **Dislocation motion becomes more difficult.**

Adapted from Fig. 4.6, *Callister 6e*.  
(Fig. 4.6 is courtesy of M.R. Plichta, Michigan Technological University.)

## 二、冷变形金属的加工硬化

定义：

金属屈服后，欲使之继续变形必须增加应力的现象。表现为强度显著提高、塑性明显下降。

发生加工硬化时应力-应变经验关系式：

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

$n$ 为加工硬化指数，0.1-0.5，反映加工硬化的强弱。

## 加工硬化的原因

位错交互作用，位错塞积

### 1. 单晶体加工硬化的三个阶段

#### (1) 第一阶段

易滑移阶段,  $\theta = d\sigma / d\varepsilon$  较小, 可发生较大塑性变形。位错间交互作用很少, 滑移距离长。

## (2) 第二阶段

线性硬化阶段，应力随应变急剧增加， $\theta$  值显著增大。滑移线变短，分布不均匀。

### 机制：

位错缠结，主次滑移系间交互作用强烈，形成位错胞。多个滑移系统被激活，位错运动障碍增大，使位错运动的自由程缩短，变形进行困难。

### (3) 第三阶段

抛物线硬化阶段,  $\theta$  值呈减小趋势。滑移线变成滑移带, 且滑移带发生碎化。螺位错发生交滑移, 使塞积位错得以松弛, 加工硬化程度减弱。

## 2. 多晶体的加工硬化

(1) 加工硬化率明显高于单晶体，无第一阶段。

(2) 加工硬化率高。

要使处于硬取向的滑移系启动，必须增大外力；塑性变形过程中各晶粒内部运动位错的强烈交互作用使位错塞积严重，晶界处应力集中，硬化曲线很陡，加工硬化率高。



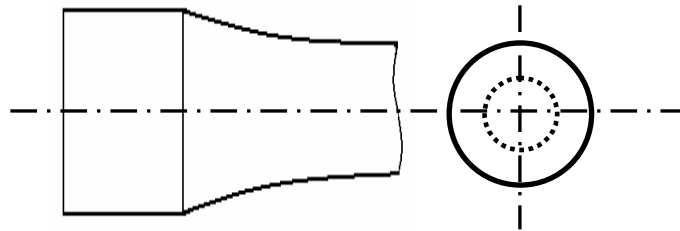
### 三、形变织构

在外加应力的作用下，各晶粒发生转动，结果使每个晶粒的某个取向都转动到力轴方向上来，形成**择优取向**。具有择优取向的组织称为织构。

## 形变织构的两种主要形式:

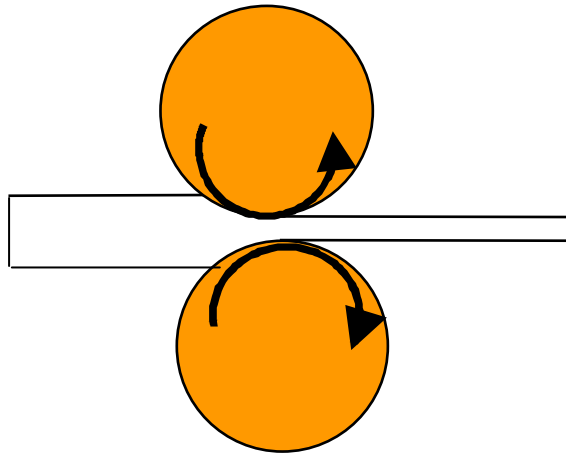
### 丝织构（拔丝）：

拉拔时各晶粒中的某一方向都趋于平行拉拔方向。用平行于拉拔轴的晶向指数 $[uvw]$ 表示。



## 板织构（轧制）：

板材轧制时各晶粒中的某一指数晶面均趋于平行轧制面，各晶粒中的某指数晶向都趋于平行轧制方向。用该晶面指数(hkl)和晶向指数[uvw]来表示板织构。



## 四、冷变形金属的内应力和储存能

### 1. 残余内应力

#### (1) 宏观残余内应力:

在材料加工过程中产生的在物质宏观体积间相互作用的力。

#### (2) 微观残余内应力:

在材料变形过程中，为达到变形的协调性，作用在微观组织间的应力。

## 2. 储存能

含义:

在对材料加工时，外力所做的功有百分之几-百分之十几存于变形产生的缺陷中，称为变形储存能。

影响因素:

(1) 形变量

(2) 加工温度

(3) 加工方式

(4) 金属熔点 (加工难易程度)

(5) 初始组织

(6) 溶质及弥散第二相