

第三章 第九节

热加工与超塑性

《材料科学基础》 第九章 第十节

“热”加工、“高温”变形，高温是指晶体点阵中原子具有较大热运动能力的温度环境，一般粗略地用 T/T_m 的比值来界定， T/T_m 大于0.5即为高温。

一、热加工

晶体在再结晶温度以上进行的变形。当温度高到使晶体在形变的同时又迅速发生回复和再结晶时，晶体的强度将明显降低，塑性增大。

1、动态回复和动态再结晶

与形变同时发生的回复与再结晶。变形停止后仍继续进行的再结晶为亚动态再结晶。

★静态回复

指金属在冷变形之后加热时，在新的无畸变晶粒出现以前经历的过程，包括位错运动构成低能组态、位错胞转化为亚晶粒、亚晶合并长大等几个阶段。

★静态再结晶

指金属在冷变形之后，在再结晶温度以上退火时，由新的无畸变的晶粒取代变形晶粒的过程。

(1) 动态回复

此阶段产生多边形化和位错缠结胞的规整化，形成稳定的亚晶。动态回复充分后将不再发生动态再结晶。

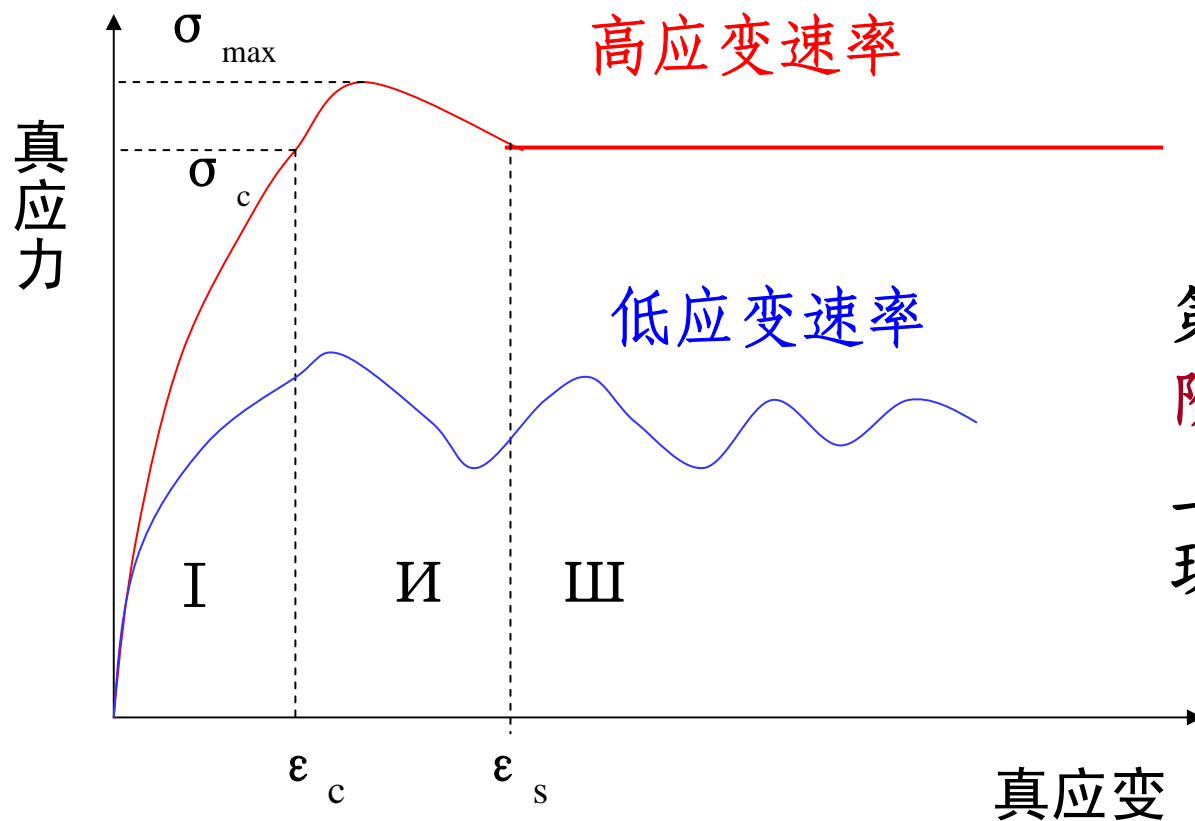
高层错能的晶体，如铝、 α -铁、铁素体钢等，因易于交滑移和攀移，热加工时主要的软化机制是动态回复而没有动态再结晶。

(2) 动态再结晶

对于一些层错能较低的金属，由于位错的攀移不利，高温回复不可能充分进行，其热加工时主要软化机制为动态再结晶。

一些面心立方金属，如铜及其合金、镍及其合金、 γ -铁、奥氏体钢等都属于这种情况。

热加工时发生动态再结晶的应力 - 应变曲线，大致可分为三个阶段。

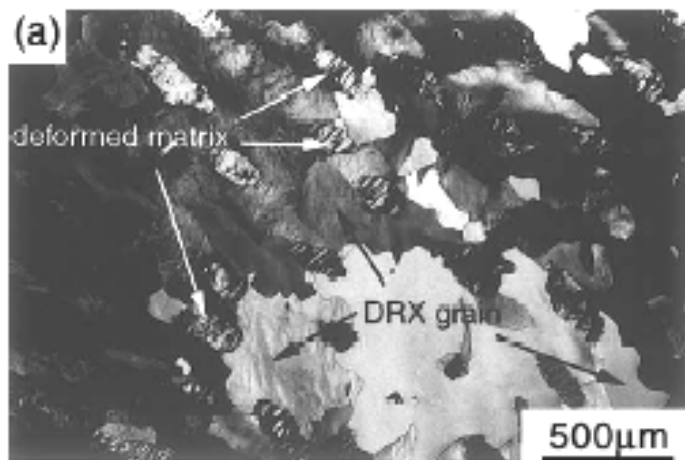


动态再结晶具有反复形核、有限长大的特点。

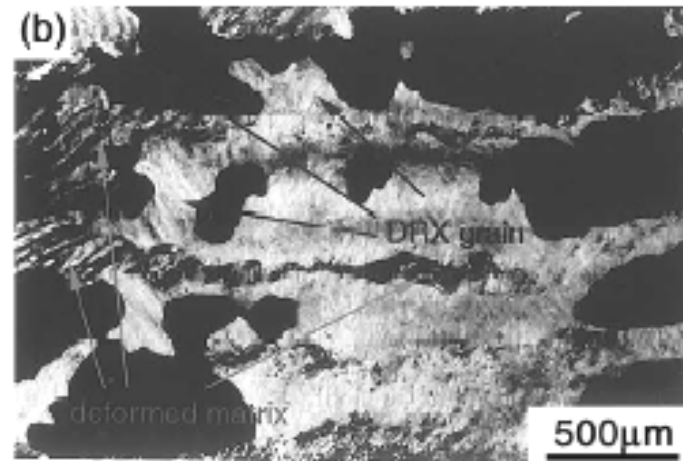
原因：

已形成的再结晶核心在长大时继续受到变形作用，使已再结晶部分位错增值，储存能增加，与相邻的变形基体的能量差减小，长大驱动力降低而停止长大。而当这一部分的储存能增高到一定程度时，又会重新形成再结晶核心。如此反复进行。

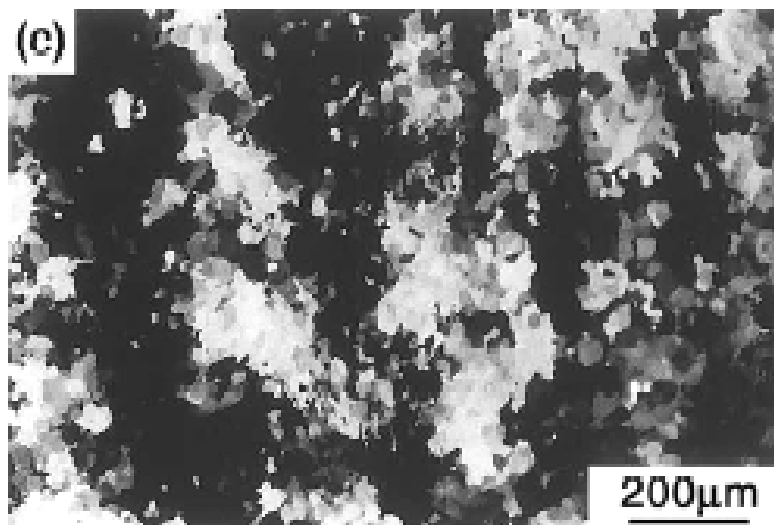
动态再结晶组织特点：T的作用



T=453K

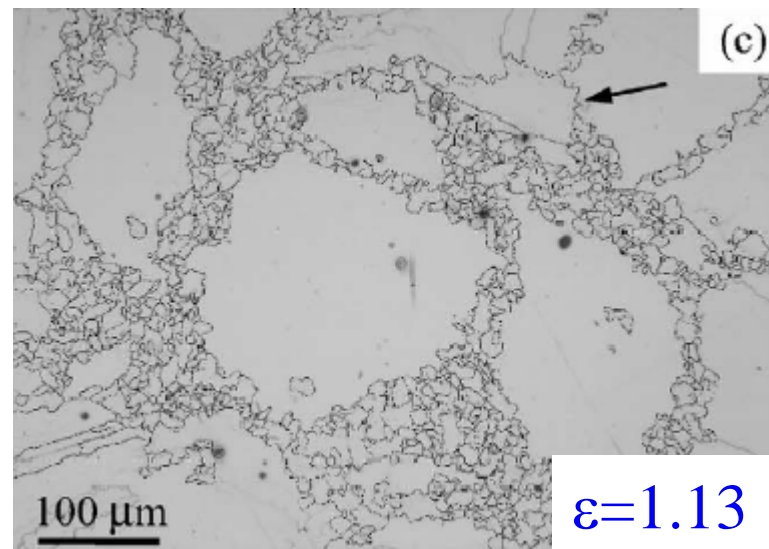
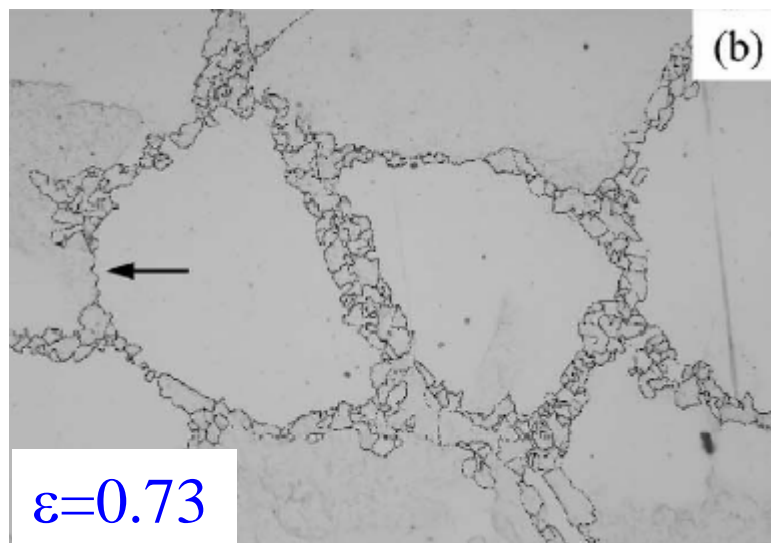
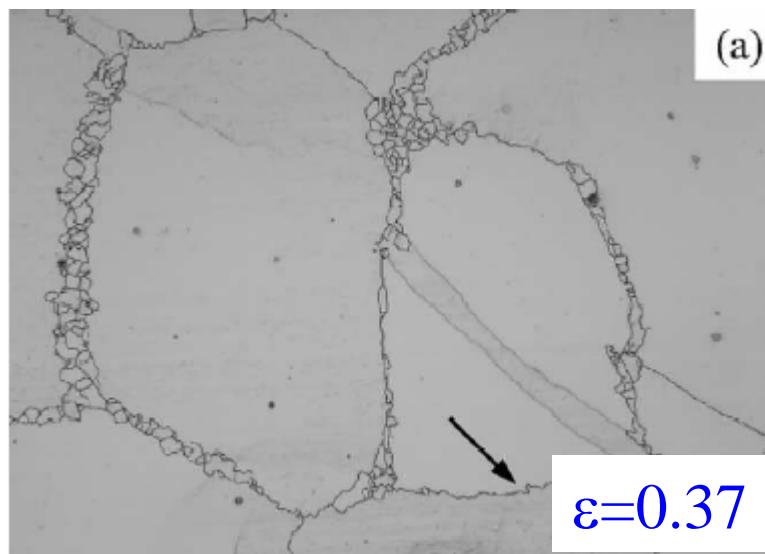


533K



613K

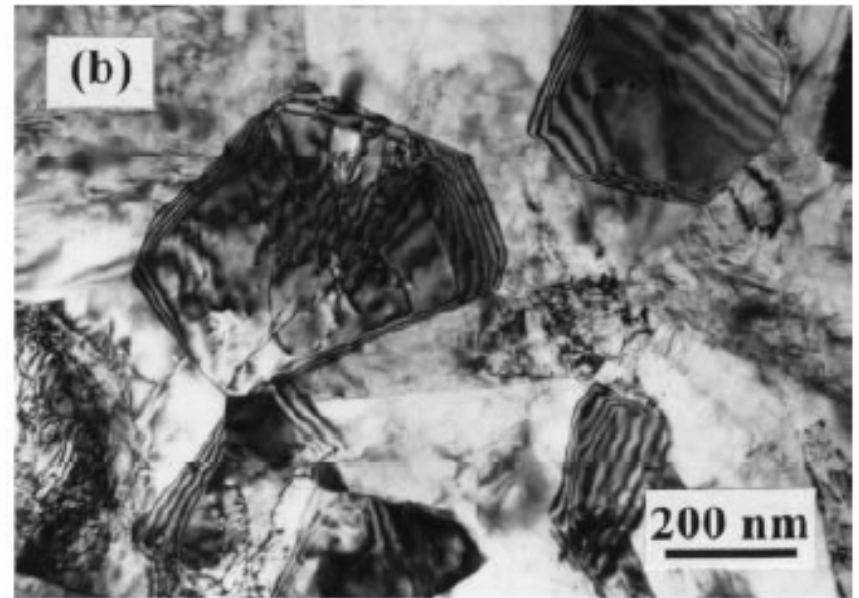
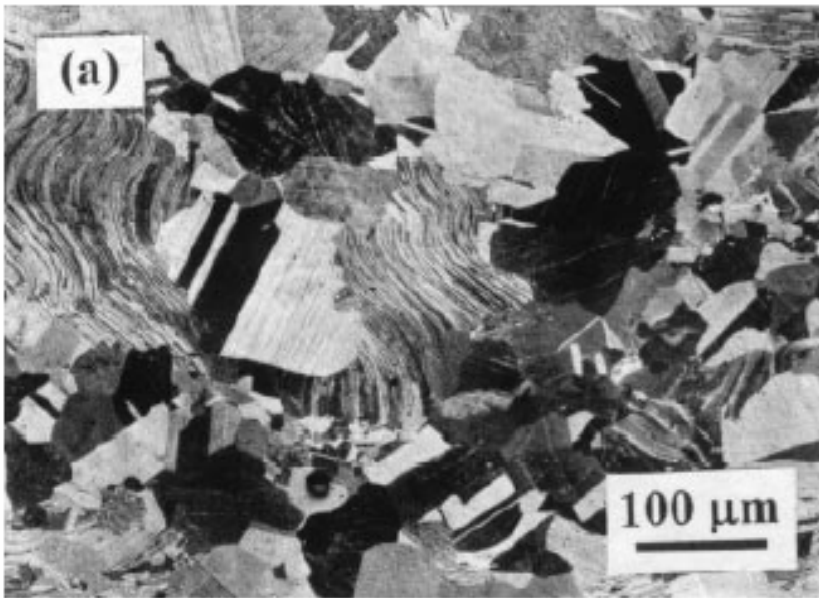
动态再结晶组织特点：应变量的作用



2、热加工后金属的组织与性能

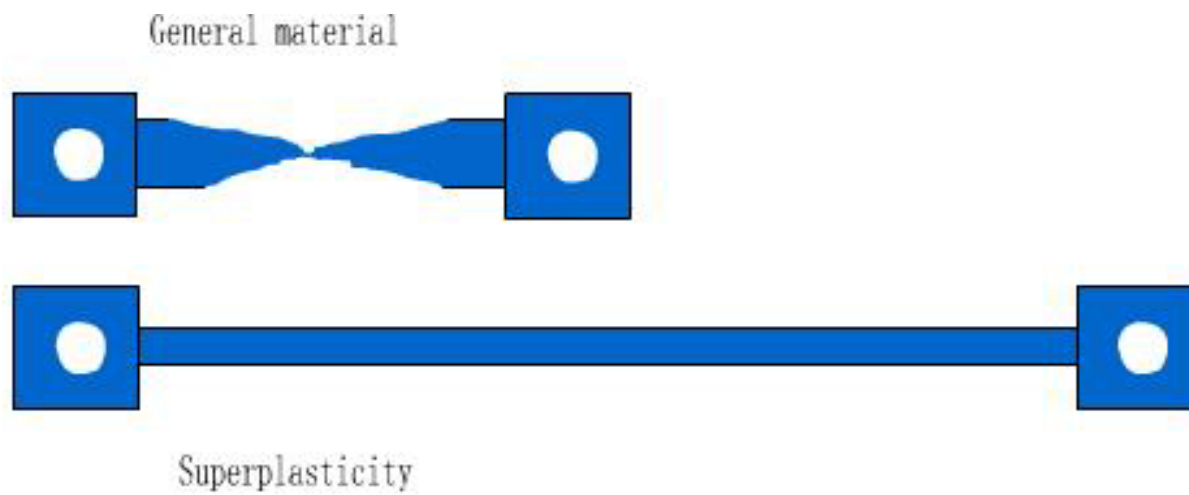
- (1) 改善铸态组织，减少缺陷。
- (2) 形成流线和带状组织，使材料性能各向异性。通常，沿流线方向比垂直流线方向具有较高的机械性能。
- (3) 晶粒大小的控制，热加工后的细晶材料具有较高的强韧性。

热加工改善组织形态和分布状态

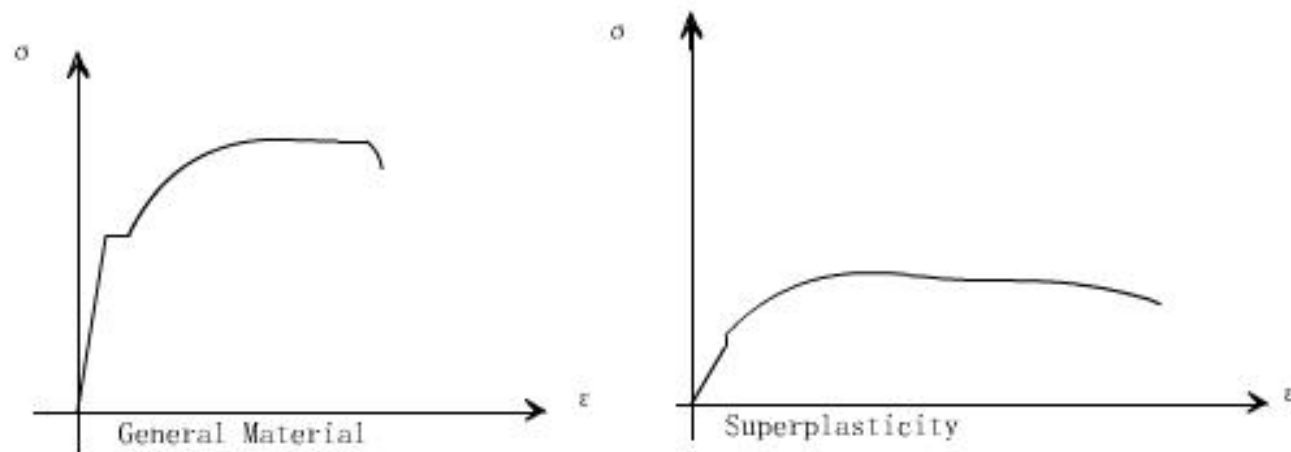
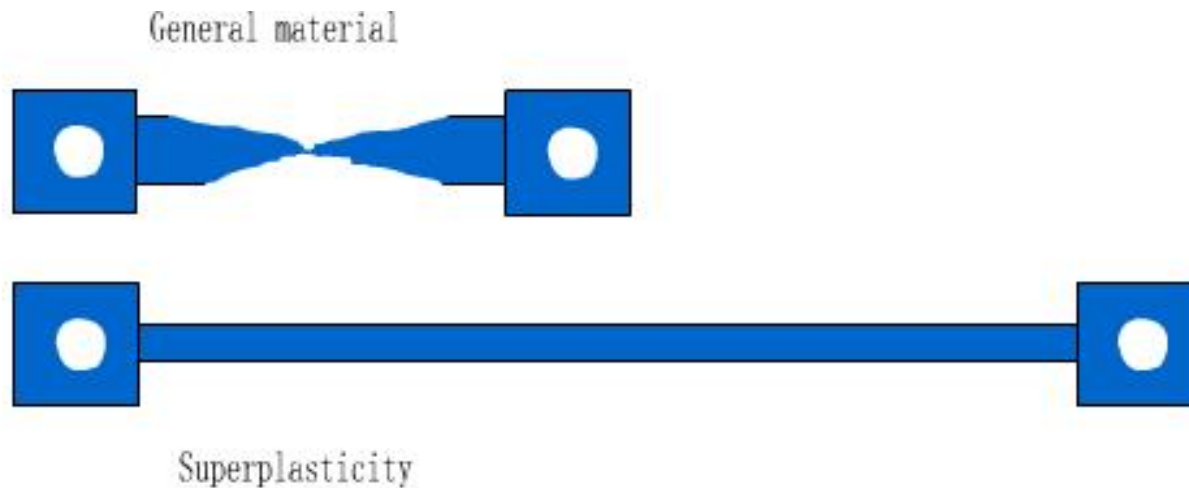


Ti-Al-Nb-Cr合金热加工前后组织形态和分布状态的变化

二、超塑性



超塑性应力-应变特点



超塑成形及产品



- 使合金在成形时呈现超塑性，变形抗力显著减小；
- 可成形形状复杂的零件；
- 成形精度高，许多情况下可实现近终成形；
- 显著提高材料利用率，减小切削加工量

超塑性的定义和特点

如果一种晶体在某种显微组织、形变温度和形变速率的条件下，表现出了特别大的均匀塑性变形而不产生缩颈，延伸率达到500% ~ 2000%，称这个材料具有超塑性。

超塑性的本质特点是：

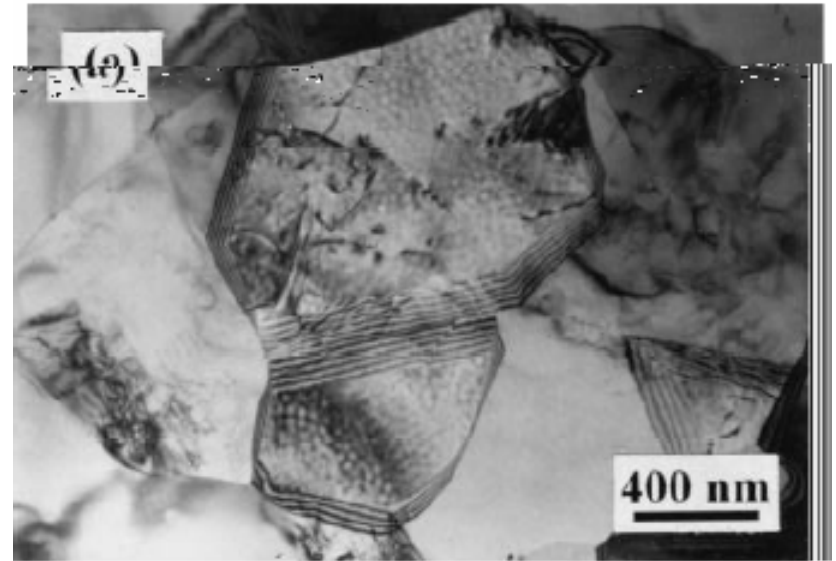
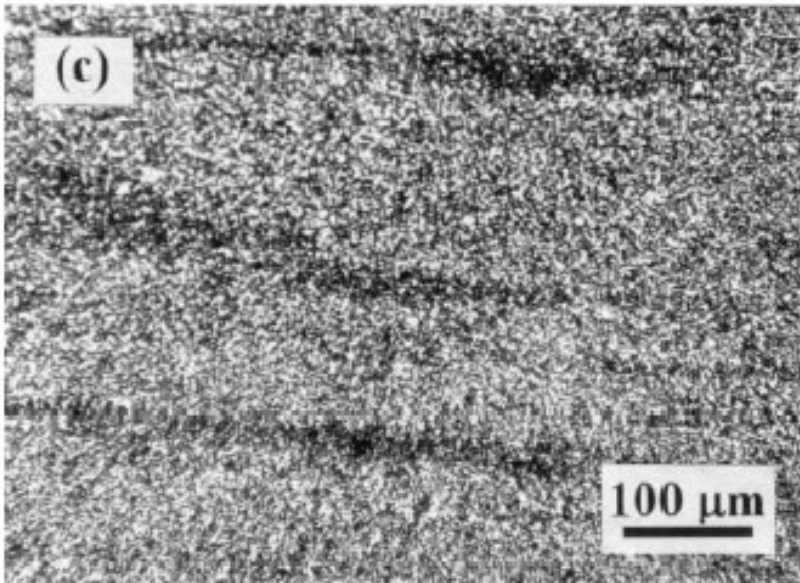
在高温发生，应变硬化很小或者等于零；
服从 $\sigma = K \varepsilon^m$ 关系， m 称应变速率敏感常数，数值较大， $0.5 < m < 0.7$ 。

产生超塑性的条件:

- (1) 材料具有细小等轴的原始组织。尺寸为微米级的超细晶粒，始终保持细小的晶粒组织。
- (2) 在高温下变形。
加工温度范围在 $0.5-0.65T_m$ 之间，超塑性变形机制主要是晶界滑动和扩散性蠕变。
- (3) 低应变速率和高应变速率敏感系数。

材料经超塑性变形后的组织结构特征:

- 超塑性变形时尽管变形量很大，但晶粒仍保持等轴状。



材料经超塑性变形后的组织结构特征:

- 超塑性变形抛光试样表面看不到滑移线。
- 超塑性变形过程中晶粒有所长大。
- 超塑性变形时产生晶粒换位，使晶粒趋于无规排列，并可因此消除再结晶组织和带状组织。

三、蠕变

蠕变是指材料在恒定的小应力及较高的温度下发生的缓慢而连续的塑性流变过程。

蠕变是在恒定应力下的一种塑性变形。

蠕变变形的微观机制有三种：

- 位错滑移
- 亚晶形成
- 晶界形变 （通过晶界的滑动来实现）