

材料强度学 第七次作业答案

1, 请简述晶体塑性变形的四大强化机制的强化根源及量化特征。

答：①加工硬化：其本质为随着应变的增加，位错不断增殖，样品内部的位错密度增加，这使得位错之间的交互作用增加，从而导致流变应力增大。量化特征为

$$\sigma = \alpha G b \sqrt{\rho}$$

②细晶强化：其本质为晶界对于位错的滑移具有阻碍作用，使材料的强度得以提高。其量化特征为： $\sigma_s = \sigma_i + k d^{-\frac{1}{2}}$

③固溶强化：由于溶质原子与位错之间发生相互作用，阻碍了位错的运动从而使材料的强度得以提高。量化特征： $\tau_c = \tau_0 + k c^m$

④析出相/沉淀相强化：其本质为第二相颗粒对位错的运动具有阻碍作用。障碍力的来源包括：共格硬化，化学硬化，层错硬化，有序硬化，模量硬化等。量化特征：基本的是 Fleisher-Friedel 点障碍近似 $\tau = \frac{F_m}{b l}$ 和 Orowan 模型 $\tau = \frac{G b}{l}$

2, 请总结概述常用表面强化的基本方法及其特点。

答：①表面形变强化：通过机械手段（滚压、内孔挤压和喷丸等）在金属表面产生压缩变形，使表面形成形变硬化层。特点：在组织结构上，亚晶粒极大地细化，位错密度和晶格畸变度增加，形成高宏观残余压应力。

②表面热处理：仅对零部件表面加热冷却，从而改变表层组织和性能而不改变成分的一种工艺。特点：仅改变表层组织性能而不改变成分，通过表面层相变达到强化效果。

③表面化学热处理：首先将工件置于渗入元素的活性介质中加热到一定温度，使得活性介质通过分解并释放出欲渗入元素的活性原子。活性原子被表面吸附并溶

入表面，溶入表面的原子向金属表层扩散渗入形成一定厚度的扩散层，从而改变表层的成分、组织和性能。特点：利用元素扩散性能，使合金元素渗入金属表层。

④高密度能量的表面改性：通过等离子体、激光等高密度能量手段对材料表面处理的手段。特点是：能源的能量密度特别高，采用非接触式加热，热影响区小，对工件基材的性能及尺寸影响小，工艺可控性强，便于实现计算机控制。

3，请使用位错塞积模型推导 Hall-Petch 关系。

答：当晶界受力达到可以被位错穿透的临界分切应力时有：

$$\tau_b = n\tau\vec{b}$$

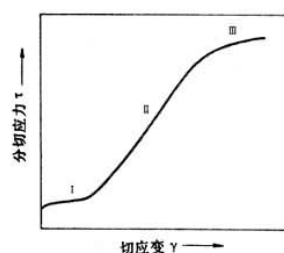
其中， n 为塞积的位错个数， τ 为位错上的外加应力， \vec{b} 为位错的伯氏矢量。设所有位错为刃位错，且伯氏矢量相等。根据已有的理论分析，当塞积的位错个数 n 很大时，假设塞积群长度 L 不变时， $n \propto \tau$ ；假设外加应力 τ 不变时，位错分布近似为线性分布，即： $n \propto L$ 。设 $L = d/2$ ：

$$\left. \begin{array}{l} n \propto \tau \\ n \propto d \end{array} \right\} \Rightarrow n = m\tau d, \quad m \text{ 为比例系数}$$

由于要克服滑移阻力 τ_m ，实际作用在位错上的净驱动力为 $\tau - \tau_m$ ：

$$\begin{aligned} \tau_b &= m(\tau - \tau_m)d(\tau - \tau_m)b \\ \tau &= \tau_m + kd^{-\frac{1}{2}}, \quad k = \sqrt{\frac{\tau_b}{mb}} \end{aligned}$$

4，请结合加工硬化原理对以下面心立方单晶体的加工硬化曲线进行解释。

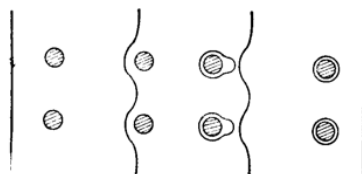


答：当拉伸方向与晶体高对称方向相差较远时，首先只启动一个滑移系的时候，面心立方单晶体的加工硬化曲线可以分为以下三个阶段：①当切应力达到晶体的临界分切应力时，其应力-应变曲线近似为直线，称为易滑移阶段，此时加工硬化率很小，滑移线细长，分布均匀。②随后加工硬化率显著增加，称为线性硬化阶段，滑移系在几组相交的滑移系上发生，位错彼此交截，滑移线较短。③第三阶段称为抛物线硬化阶段，加工硬化随应变增加而减少，出现许多碎断滑移带，滑移带端部出现交滑移痕迹。多晶体加工硬化曲线一般不容易出现易滑移的第一阶段，并且加工硬化率明显高于单晶体。

5, 请画出位错绕过第二相粒子的运动过程, 推导 Orowan 修正模型 $\tau_c = \frac{Gb}{2\pi K} \cdot$

$$\frac{1}{l-2r_0} \cdot \ln\left(\frac{l-2r_0}{r_s}\right)。$$

答：运动过程：



推导过程：在不考虑颗粒半径以及假设线张力不变的情况下，求解所需最小切应

力的过程与 Frank-Read 源类似：由于切应力 $\tau = \frac{Gb}{2r}$ 因此当位错弯曲

成半圆时 r 最小，即 τ 最大，此时 $r = \frac{l}{2}$ 。在析出相颗粒大小 r_0 不可忽略

的情况下，需要对线张力等参数进行修正，此时： $T = \frac{Gb^2}{2\pi K} \ln\left(\frac{r}{r_s}\right)$ 。式

中， K - 柏氏矢量与位错线夹角的三角函数； r_s - 位错核心半径 (\approx

b)； r - 所考虑位错的应力场范围，可取 $r \approx (l - 2r_0)$ ，代入上述式

子即可得到修正后的 Orowan 模型： $\tau_c = \frac{Gb}{2\pi K} \cdot \frac{1}{l-2r_0} \cdot \ln\left(\frac{l-2r_0}{r_s}\right)$

6, 已知某一金属材料中存在如图所示的细密第二相颗粒, 位错 A 由位置 1 运动至位置 2 的过程中由于绕过第二相粒子会留下图 2 所示的位错环, 现在外力的作用下有以下两种情况: ①位错 A 由位置 2 沿原路径返回至位置 1 (图 3); ②位错 B (与位错 A 完全相同) 由位置 1 沿相同路径运动至位置 2 (图 4)。

请判断以上两种情况所需要的外力是否相同; 如不同, 请说明哪种情况所需外力更大并说明其原因。(提示: 此题可以解释为什么在含有第二相细密颗粒的金属材料中包申格效应会十分显著)

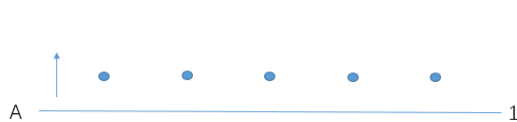


图 1

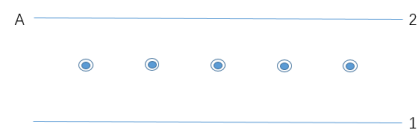


图 2

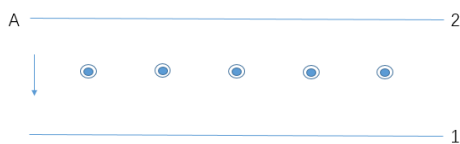


图 3

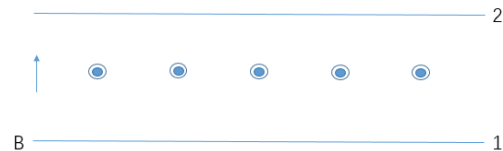
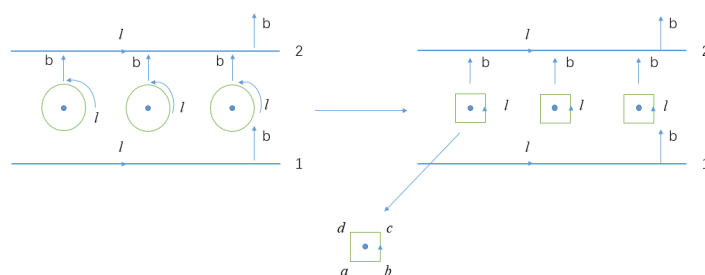


图 4

答: 可以有以下两种思考方式:

方法一: 现对运动过程中产生的位错环进行分析, 为方便作图, 此处使用正方形表示位错环 0° , $\pm 90^\circ$, 180° 处的切线。



根据位错线方向以及柏氏矢量方向可以判断, 位错环上的 ab、cd 段为刃位错,

bc、da 段为螺位错，因此在刃位错 A、B 跨过第二相粒子的运动过程中无相互作用。对于位错 A 而言，cd 段位错给予的向下的切应力大于 ab 段位错给予的向上的切应力，即帮助位错 A 向下运动；对于位错 B 而言，ab 段位错给予的向下的切应力大于 cd 段位错给予的向上的切应力，即阻碍位错 B 向上运动。因此以上两种情况所需要的外力不相等，第二种情况需要的外力更大。

方法二：位错 A 运动跨过第二相颗粒时会留下图中逆时针的位错环，当与位错 A 完全相同的位错 B 再次跨过时，会在第一层位错环外再次形成第二层位错环（下图中的虚线），并且当位错 B 与第一层位错环接近时，根据位错线方向及柏氏矢量可以判断，第一层位错环对 B 的继续移动起到了阻碍作用。而当位错 A 由位置 2 返回位置 1 时，若第二相粒子附近没有第一层位错环，则将形成顺时针的位错环，但是由于此处已经存在逆时针的位错环，因此当位错 A 接近第一层位错环时，如图中所示会发生抵消，位错线直接跨越过了第二相粒子，因此情况一所需要的外力更小。

