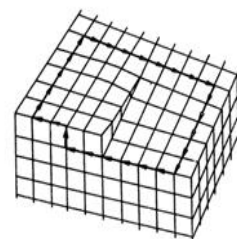
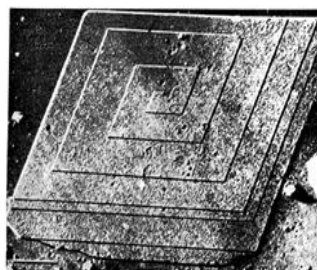
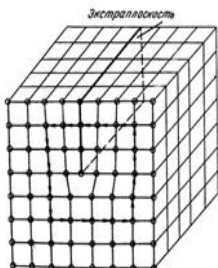
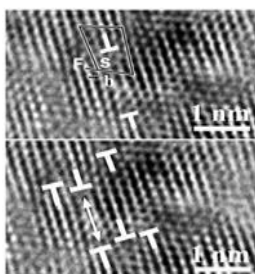


Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 7. Что прочнее?

1. Дислокация – это протяжённый одномерный структурный дефект в кристаллическом материале. Дислокации бывают краевыми, винтовыми и смешанными.



Краевые дислокации и их схематичное изображение

Винтовая дислокация и её схематичное изображение

2. Поскольку модуль Юнга меди равен 110 ГПа, а минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации в монокристаллической меди, равно 25 МПа, то закон Гука оказывается справедливым вплоть до относительного удлинения, равного

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{25 \text{ МПа}}{110 \text{ ГПа}} = 2,3 \cdot 10^{-4} = 0,023\%$$

Следовательно, относительное удлинение 0,01% соответствует области упругих деформаций, происходящих без структурных изменений. Для поликристаллического стержня это утверждение также справедливо, так как для него минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации, ещё больше:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

$$\sigma = 25 \text{ МПа} + \frac{0,11 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}}{\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \text{ м}}} \approx 60 \text{ МПа}$$

Таким образом, деформации в 0,01% ни в случае монокристаллической, ни в случае поликристаллической меди сопровождаются движением дислокаций не будут. Поэтому в обоих случаях необходимо приложить одно и то же напряжение, то есть их отношение равно 1.

3. По формуле, приведённой в условии задачи, несложно рассчитать, что

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

$$d = \left(\frac{k}{\sigma - \sigma_0} \right)^2$$

$$d_1 = \left(\frac{0,11 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}}{550 \text{ МПа} - 25 \text{ МПа}} \right)^2 = 44 \text{ нм}$$
$$d_2 = \left(\frac{0,11 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}}{1150 \text{ МПа} - 25 \text{ МПа}} \right)^2 = 10 \text{ нм}$$

То есть, размер зёрен, теоретически необходимый для достижения механического напряжения, которое вызывает пластические деформации в легированной стали 20Х и паутине, составляет порядка 44 нм и 10 нм соответственно. Первое из них значительно больше характерного размера дислокаций в меди, а второе – меньше. Это означает, что в медном материале с размером кристаллитов 10 нм дислокаций внутри зёрен быть не может. Поэтому и упрочняться такой материал тоже не будет: наименьший размер зерна, при котором выполняется соотношение Холла-Петча, примерно равен длине дислокации. Таким образом, механическое напряжение, вызывающее пластические деформации в меди, действительно может оказаться таким же, как у легированной стали 20Х, но оно никогда не достигнет значения, характерного для паутины.