

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы

1. Получить представление о способах упрочнения металлов и количественной зависимости предела текучести от параметров структуры.
2. Выполнить индивидуальное задание.

Основные сведения по теме работы

Значительная пластическая деформация деталей машин и конструкций при эксплуатации недопустима. Поэтому повышение прочности металлов и сплавов означает, прежде всего, повышение предела текучести σ_T . **Предел текучести** $\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$ [МПа] – это напряжение пластического течения металла без увеличения нагрузки.

Область II на диаграмме растяжения является областью борьбы за прочность (рис. 1). Здесь происходит пластическая деформация, т. е. движение дислокаций.

Дислокации – это нарушения правильного кристаллического строения, которые малы в двух пространственных направлениях, а в третьем имеют значительную протяжённость. Это подвижные объекты структуры; их перемещение приводит к пластической деформации материала.

Чтобы затруднить перемещение дислокаций, нужно создать препятствия для их движения – или избавиться от дислокаций совсем.

Упрочнение за счёт создания бездефектных кристаллов

Бездефектные кристаллы удастся вырастить в виде тонких нитей, или «усов» (их длина несколько миллиметров, толщина до 20 мкм). Их прочность действительно близка к теоретически рассчитанной.

Кристаллы крупных размеров вырастить без дефектов не удаётся.

Не совсем ясно, играет в прочности «усов» главную роль отсутствие дефектов или поверхностное натяжение. Изделия, содержащие такие кристаллы, высокой прочностью не обладают.

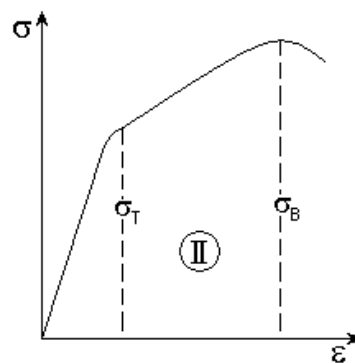


Рис. 1. Область пластической деформации

Можно сказать, что пока этот путь создания высокопрочных материалов не реализован.

Упрочнение за счёт торможения движущихся дислокаций

1) Упрочнение самими дислокациями

В ходе пластической деформации создается такая высокая плотность дислокаций, что они сами начинают взаимно тормозить скольжение друг друга. Возникает так называемый «лес дислокаций».

При повторном испытании уже продеформированного образца предел текучести оказывается больше: $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$ (рис. 2).

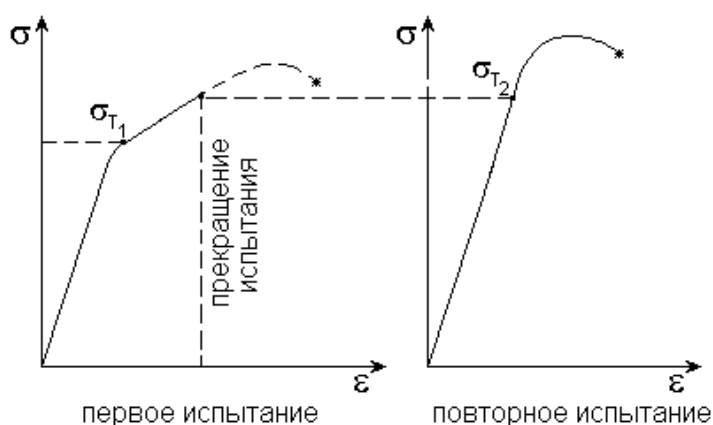


Рис. 2. Упрочнение металла при повторном испытании на растяжение

Увеличение предела текучести связано с плотностью дислокаций зависимостью

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где σ_0 – напряжение сдвига до упрочнения; α – коэффициент, зависящий от природы металла; G – модуль сдвига; b – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями), ρ – плотность дислокаций.

Примерами использования такого механизма упрочнения являются дробеструйный наклёп пружин, рессор и штампов, патентирование проволоки, чистовая обработка поверхностным пластическим деформированием (обкатка роликами, дорнование отверстий).

2) Упрочнение границами зёрен

В мелкозернистом металле площадь поверхности зёрен в единице объёма больше, чем в крупнозернистом (рис. 3). Мелкозернистый металл прочнее, так как на пути скольжения дислокаций встречается больше барьеров – границ зёрен: $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$.

Зависимость предела текучести от размера зерна описывается отношением Холла–Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{1/2},$$

где σ_0 – напряжение сдвига до упрочнения; k – постоянная для данного металла, d – диаметр зерна.

Примеры: модифицирование сплавов при выплавке и литье, рекристаллизация сильно наклепанного металла, измельчение зерна при фазовых превращениях.

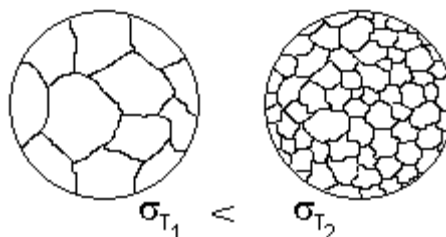


Рис. 3. Упрочнение границами зёрен

3) Упрочнение растворёнными атомами примесей

Искажения решётки, вызванные атомами примесей, мешают дислокациям свободно скользить (рис. 4).

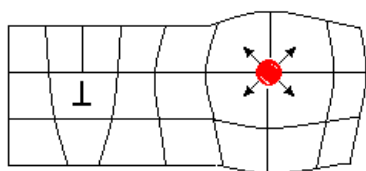


Рис. 4. Упрочнение твёрдым раствором

В первом приближении упрочнение при образовании твёрдого раствора можно определить по формуле Мотта-Набарро в зависимости от количества примеси:

$$\sigma_T = G \cdot \varepsilon^2 \cdot C,$$

где G – модуль сдвига, ε – параметр, зависящий от различия размеров атомов растворённого компонента r и растворителя r_0 , C – атомная концентрация растворённого компонента. Можно принять параметр $\varepsilon = (r - r_0)/r_0$.

Примерами применения такого механизма упрочнения являются практически все сплавы в современной технике. Все они являются твёрдыми растворами. При закалке сплавов создают пересыщенные твёрдые растворы, добиваясь значительного упрочнения.

4) Упрочнение дисперсными частицами второй фазы

Дисперсные, т. е. очень мелкие, частицы имеют размеры меньше 100 нм. Более крупные частицы не являются таким эффективным препятствием для дислокаций.

Огибая мелкие частицы (рис. 5, стадия 2), дислокации замыкаются вокруг них (3), при этом возникают дислокационные петли (4), или кольца. Прохождение множества дислокаций приводит к образованию так называемых колец Орована (n). Дальнейшее скольжение дислокаций на этом участке затруднено.

Если частицы второй фазы не округлые, а игольчатые, то дислокации «наматываются» на них, как нитки на веретено.

Упрочнение дисперсными частицами зависит от расстояния L между ними:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b)/L,$$

где σ_0 – напряжение сдвига до упрочнения; G – модуль сдвига; b – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

Дополнительное усилие, то есть величина касательного напряжения, необходимого для прохождения дислокаций между частицами, составляет

$$\tau = (G \cdot b)/L,$$

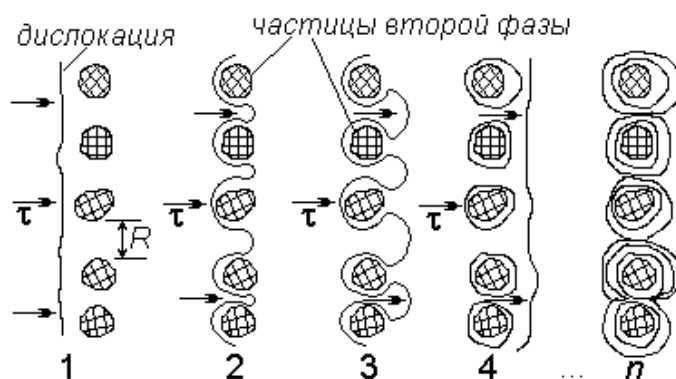


Рис. 5. Упрочнение дисперсными частицами второй фазы

По такому механизму упрочняются очень многие сплавы: дуралюмины, бронзы, сплавы титана, некоторые стали.

В большинстве современных высокопрочных материалов используются несколько способов упрочнения одновременно: твёрдый раствор и мелкие частицы химического соединения, твёрдый раствор с высокой плотностью дислокаций и т. п.