

А. Ф. Иоффе показал, что после погружения кристаллов поваренной соли в воду ее прочность на разрыв возрастает с $4,9 \cdot 10^6$ до $1,6 \cdot 10^9$ Па, т. е. прочность после операции погружения становится близкой к теоретической.

Присутствие в окружающей среде поверхностно-активных веществ, способных сильно адсорбироваться, снижает поверхностную энергию. Частицы, адсорбированные на поверхности, распирают зародышевые трещинки, проникают в глубь тела и разрушают его разрывную прочность. Для уменьшения влияния трещинок и царапин на прочность необходимо либо их «залечивать», либо каким-то способом от них избавляться. Самый простой способ — удаление поверхностного слоя в подходящем травителе. В настоящее время все большее применение находит способ, связанный с облучением приповерхностного слоя твердого тела ускоренными ионами либо инертных элементов, либо ионами металлов с соответствующим температурным отжигом, в результате чего происходит залечивание трещинок и царапин.

Итак, предел прочности твердых тел еще далек, и нужна огромная и кропотливая работа для его достижения. Эта работа, в частности, касается развития количественной теории дислокаций, требует окончательной разгадки механизма образования «усов», изучения влияния малых примесей на процессы деформации и разрушения. Злободневной проблемой является проблема получения материалов особой чистоты, поскольку большинство физических свойств твердых тел (не только механических) определяется присутствующими в них примесями.

ГЛАВА 5

КОЛЕБАНИЯ АТОМОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ

В твердом теле атомы при любой температуре, включая 0 К, непрерывно совершают колебания около их среднего положения равновесия. При небольших амплитудах такие колебания можно считать гармоническими. С повышением температуры амплитуды и энергии этих колебаний увеличиваются. Так как атомы в твердом теле сильно связаны друг с другом, то возбуждение колебаний одного из атомов передается ближайшим атомам, которые, в свою очередь, передают это возбуждение своим соседям и т. д. Этот процесс подобен процессу распространения звуковых волн в твердом теле. Все возможные колебания сильно связанных между собой атомов можно представить как совокупность взаимодействующих упругих волн различной длины, распространяющихся по всему объему кристалла. Так как твердое тело ограничено по размерам, то

при данной температуре устанавливается стационарное состояние колебаний, представляющее собой суперпозицию стоячих волн (поверхность твердого тела для звуковых волн является узловой).

С колебаниями атомов кристаллической решетки связаны многие физические явления в твердых телах — теплоемкость, теплопроводность, термическое расширение, электропроводность и др. Теория колебаний атомов трехмерного кристалла крайне сложна. Поэтому мы сначала рассмотрим распространение упругих волн в однородной упругой струне и в кристаллах без учета их дискретной структуры. Затем рассмотрим колебание атомов в одномерной решетке. После этого полученные результаты обобщим для случая трехмерной кристаллической решетки.

5.1. ОДНОМЕРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОДНОРОДНОЙ СТРУНЫ

Рассмотрим распространение продольных волн в однородной неограниченной струне с линейной плотностью ρ . В этом случае движение каждого из элементов струны происходит лишь в направлении ее длины. При распространении продольной волны на элемент толщиной Δx (рис. 5.1) действуют силы: слева $S\sigma(x)$ и справа $S\sigma(x+\Delta x)$, где S — площадь поперечного сечения струны, $\sigma(x)$ и $\sigma(x+\Delta x)$ — нормальные упругие напряжения.

На элемент Δx действует результирующая сила

$$F = S\sigma(x+\Delta x) - S\sigma(x). \quad (5.1)$$

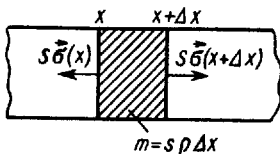
Под действием этой силы элемент Δx испытывает смещение. Обозначив $u(x, t)$ смещение центра масс элемента Δx , запишем в соответствии со вторым законом Ньютона уравнение его движения

$$\rho S \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = S\sigma(x+\Delta x) - S\sigma(x). \quad (5.2)$$

Здесь $\rho S \Delta x = m$ — масса элемента толщиной Δx , а $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ — ускорение. Уравнение (5.2) перепишем в виде

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\sigma(x+\Delta x) - \sigma(x)}{\Delta x}$$

Рис. 5.1. К выводу уравнения движения упругих волн в струне



При $\Delta x \rightarrow 0$ оно перейдет в уравнение

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x}. \quad (5.3)$$

Согласно закону Гука для изотропных твердых тел,

$$\sigma = E \varepsilon,$$

где E — модуль упругости (модуль Юнга); $\varepsilon = \partial u / \partial x$ — деформация в точке. Отсюда

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = E \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

Тогда уравнение движения для смещения $u(x, t)$ окончательно примет вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (5.4)$$

Это обычное волновое уравнение для упругих волн, распространяющихся вдоль струны. Решение этого уравнения будем искать в виде бегущей продольной монохроматической волны:

$$u = u_0 \exp[i(\kappa x - \omega t)] = u_0 \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \nu t \right) = u_0 \sin(\kappa x - \omega t), \quad (5.5)$$

где u_0 — амплитуда колебания; ν — частота колебаний; $\omega = 2\pi\nu$ — круговая частота; t — время; λ — длина волны; $\kappa = 2\pi/\lambda$ — волновое число. После подстановки решения (5.5) в уравнение (5.4) получим дисперсионное соотношение

$$\omega = \sqrt{E/\rho} \cdot \kappa = v_l \cdot \kappa. \quad (5.6)$$

Из (5.6) следует, что для упругой волны, распространяющейся в неограниченно протяженной струне, частота колебаний линейно зависит от волнового числа (рис. 5.2). При этом ско-

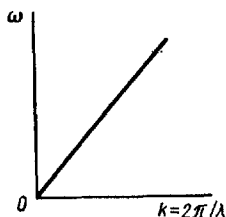


Рис. 5.2. Дисперсионная зависимость для непрерывной струны

рость распространения волны $v_l = \sqrt{E/\rho}$ для данного материала — величина постоянная, поскольку E и ρ являются характеристиками только материала. Так, для железной струны ($E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³) имеем $v_l = 5 \cdot 10^3$ м/с.

Как видно из рис. 5.2, модуль волнового числа может меняться от 0 до ∞ , а следовательно, частота колебаний меняется непрерывно от 0 до ∞ .