

меньшему удлинению в направлении оси стержня и такому же поперечному сжатию  $\frac{p}{6G}$ .

Точно так же оставшиеся растягивающие напряжения, действующие на верхнее и нижнее основания стержня, совместно со сжимающими напряжениями, действующими на две другие боковые грани  $N$  и  $M$ , произведут сдвиг, эквивалентный удлинению  $\frac{p}{6G}$  в направлении оси и такому же поперечному сжатию.

Итак, полное продольное растяжение

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{p}{9K} + \frac{p}{6G} + \frac{p}{6G} = \frac{p}{E},$$

откуда

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{9K} + \frac{1}{3G}. \quad (12)$$

Поперечное сжатие  $\frac{\Delta d}{d}$ , перпендикулярное к граням  $C$  и  $D$  или  $M$  и  $N$ ,

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\mu p}{E} = \frac{p}{6G} - \frac{p}{9K},$$

откуда

$$\frac{\mu}{E} = \frac{1}{6G} - \frac{1}{9K}. \quad (13)$$

Уравнением (12) пользуются для вычисления модуля всесторонней упругости  $K$  исходя из легко определяемых опытным путем модулей Юнга  $E$  и сдвига  $G$ .

Складывая (12) и (13), получим уравнение, служащее для вычисления коэффициента Пуассона:

$$\frac{1}{E} (1 + \mu) = \frac{1}{2G},$$

или

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1.$$

#### § 44. Характеристика механических свойств твердого тела по диаграмме растяжения. Явление наклепа

Практически наиболее удобным способом исследования механических свойств твердого тела являются испытание тела на растяжение и построение *диаграммы растяжения*.

По оси ординат откладывают напряжение  $p$  (нагрузку на единицу площади поперечного сечения образца), по оси абсцисс — относительное удлинение. На рис. 80 изображены диаграммы растяжения материалов, наиболее часто применяемых в технике: сварного железа, мягкой и твердой стали. Все три кривые имеют прямолинейный участок, круто наклоненный к оси абсцисс, в пределах которого материалы вполне подчиняются закону Гука. Точка  $A$  на всех этих кривых соответствует *пределу пропорциональности*  $P_p$ , с которым практически совпадает *предел упругости*  $P_r$  (§ 41). За пределом пропорциональности удлинения начинают возрастать быстрее нагрузок, и после перехода так называемой «крити-

ческой» точки (на кривой, изображающей растяжение сварного железа, — это точка  $B$ ) удлинение может возрастать без увеличения нагрузки. Напряжение, которое соответствует критической точке  $B$ , называют *пределом текучести*  $P_s$ .

При дальнейшей нагрузке материал вновь приобретает способность сопротивляться растяжению: кривая загибается вверх. Возрастание нагрузок продолжается до тех пор, пока на бруске не появится местное сужение. Теперь деформация сосредоточивается у места сужения. Удлинение продолжает возрастать даже при уменьшающейся растягивающей силе, так как произошло значительное уменьшение поперечного сечения, и, наконец, в точке  $C$  наступает разрыв. Нагрузку, действующую в момент разрыва, отнесенную к первоначальной площади поперечного сечения, называют *пределом прочности*, или *временным сопротивлением*  $R$ .

Если деформированный брусок, напряжение которого несколько превосходит предел упругости, начать разгружать, то происходящее при этом уменьшение деформации изобразится прямой, которая расположена параллельно прямолинейному участку линии  $OD$  (рис. 81).

При полном устранении растягивающих сил брусок окажется на величину  $OE$  длиннее своей первоначальной длины;  $OE$  является *остаточной деформацией*.

До перехода предела пропорциональности (если растяжение производится «адиабатно», т. е. без притока или отдачи тепла) растяжение сопровождается небольшим понижением температуры. Появление остаточной деформации сопровождается резким повышением температуры.

Замечательное свойство многих твердых тел (в особенности металлов) заключается в том, что при повторных испытаниях твердое тело проявляет иные механические свойства, а не те, которые были проявлены этим телом при первом испытании. Твердые тела как бы запечатлевают в себе историю всех произведенных на них механических воздействий. Остаточные деформации (иногда весьма малые, незаметные на глаз) существенно изменяют механические свойства твердого тела — *упрочняют его*.

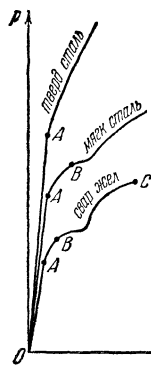


Рис. 80. Диаграмма растяжения.

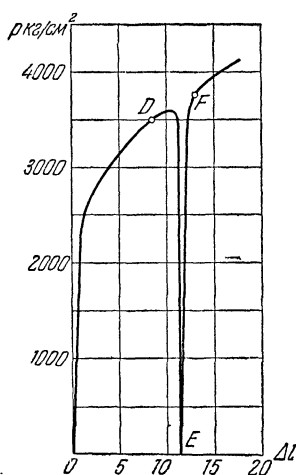


Рис. 81. Диаграмма растяжения, поясняющая явление наклепа

деформации (иногда весьма малые, незаметные на глаз) существенно изменяют механические свойства твердого тела — *упрочняют его*.

Внешне явление заключается в следующем. Как было сказано выше, если деформированный брусок, напряжение которого превысило предел упругости, начать разгружать от растянувших брусок сил, то уменьшение деформации изобразится прямой, которая расположена параллельно прямолинейному участку диаграммы первого растяжения (рис. 81). История этого первого растяжения будет запечатлена удлинением бруска на величину остаточной деформации *OE*, сохраняющейся неопределенно долго при полном устранении нагрузки. Если теперь мы повторим испытание механических свойств бруска, т. е. снова начнем его растягивать, и будем графически изображать зависимость между удлинением и нагрузкой, то окажется, что теперь предел пропорциональности будет достигнут при значительно большем напряжении, чем в первоначальном испытании: упругость бруска стала больше. На рис. 81 предел пропорциональности изобразится теперь точкой *F*. Предварительный переход за предел пропорциональности «закаляет» материал. Это явление называют *наклепом*.

Первоначальные упругие свойства можно вернуть наклепанному металлу путем отжига, т. е. выдерживанием металла при довольно высокой температуре и медленным охлаждением. При одинаковой деформации в наклепанном металле возникают большие напряжения, чем в отожженном, и поэтому наклепанный металл разрушается при меньшей деформации, чем отожженный. Зато при одинаковых напряжениях наклепанный металл деформируется меньше отожженного. Поэтому кованные, вальцованные, прессованные металлы более упруги, но зато и более хрупки, чем металлы отожженные или литые.

Многие твердые тела, в том числе все металлы, состоят из отдельных очень мелких кристаллов («зерен»), иногда отделенных друг от друга веществом иного состава. Эти кристаллы расположены в беспорядке, и механические характеристики, получаемые в результате испытаний, представляют собой не что иное, как видоизмененные влиянием прослоек средние величины для отдельных кристаллов, расположенных по различным направлениям. Поэтому, чтобы уяснить себе особенности обычных *поликристаллических* материалов, важно изучить механические свойства *монокристаллов*<sup>1)</sup>.

Монокристаллы анизотропны: механические свойства монокристаллов зависят от направления действующей нагрузки по отношению к кристаллографическим осям. При растяжении монокристалла после перехода критической точки начинается *пластическая деформация*, а именно скольжение отдельных слоев кристалла относительно друг друга по определенным плоскостям.

Деформации мелких кристаллов, из которых составлен обыкновенный металлический образец, имеют такой же характер. Когда

<sup>1)</sup> От латинского *monos* — е д и н ы й.

напряжение достигает величины предела упругости, начинаются скольжения в некоторых наиболее неблагоприятно расположенных микрокристаллах.

При устранении внешних сил форма образца восстанавливается не полностью, так как этому препятствует пластическая деформация микрокристаллов, в которых произошло скольжение. Поэтому в образце останутся некоторые внутренние напряжения: те упруго деформированные микрокристаллы, которые соприкасаются с кристаллами, испытывавшими пластическую деформацию, останутся несколько растянутыми. При повторной нагрузке течение образца наступит при большем напряжении, нежели при первоначальной нагрузке (рис. 81, точка *F*), так как теперь скольжение начнется у тех кристаллов, которые при первоначальном растяжении до напряжения, уже превосходившего предел упругости (рис. 81, точка *D*), испытывали только упругие деформации. Этим объясняют явление наклепа.

### § 45. Пластичность

Идеальная пластичность (т. е. полная податливость к изменению формы, текучесть) свойственна жидкостям, но, кроме обычных жидкостей, существует большое число пластичных тел, которые обладают текучестью при тех или иных условиях. Обычные вязкие жидкости обнаруживают течение (что можно рассматривать как необратимые деформации сдвига) при самых малых напряжениях. Упругим твердым телам свойственны при малых напряжениях обратимые упругие деформации. Пластичные же материалы, такие, как глины, краски, вазелин и т. п., при малых напряжениях испытывают лишь упругие обратимые деформации, но текут под действием больших сил, превосходящих «предел текучести». Таким образом, пластичные тела сохраняют свою форму под действием малых сил (например, силы тяжести), но легко деформируются и принимают любую форму при больших усилиях.

Вообще говоря, все твердые тела в той или иной степени пластичны, т. е. текут в определенных условиях. Как уже было пояснено в предыдущих параграфах, лучшие сорта стали обнаруживают необратимые, остаточные деформации при больших напряжениях, действующих длительное время. Пластическое течение обнаруживают также и горные породы в земной коре. В горах бывают хорошо видны изгибы пластов осадочных горных пород, которые вначале были горизонтальны, а затем под действием тектонических <sup>1)</sup> сил медленно текли в течение многих тысячелетий и в результате образовали причудливые складки.

Для изучения атомной природы пластической деформации монокристаллов (на примере каменной соли) А. Ф. Иоффе (1918 г.)

<sup>1)</sup> Тектоническими явлениями называются явления, происходящие при смещениях земной коры: землетрясения, сдвиги, складкообразование.