

В реологии стремятся составить такую систему уравнений, связывающих напряжение, деформации и скорости деформаций, которая была бы применима при рассмотрении течения всех реальных веществ, когда течение вызвано любым способом — растяжением, сжатием, кручением, изгибом и т. д. Такая общая задача еще не разрешена и разработаны лишь отдельные частные случаи.

§ 46. Прочность и твердость

Прочность тел можно характеризовать двумя величинами: *сопротивлением скольжению* и *сопротивлением отрыву* частиц. Если сопротивление скольжению составляет больше половины ¹⁾ сопротивления отрыву частиц, то материал хрупок: разрушение его происходит без пластических деформаций. Если же сопротивление скольжению меньше, чем половина сопротивления отрыву частиц, то сначала начнется скольжение по плоскостям, наклонным под углом в 45° к растягивающим усилиям, и разрушению будет предшествовать пластическая деформация.

Сопротивление скольжению сходно с вязкостью жидкостей; оно, как и вязкость, *возрастает при понижении температуры* и при увеличении скорости деформации. Напротив, *сопротивление отрыву* мало зависит от температуры и от скорости деформации. Поэтому, если у какого-либо тела при нормальной температуре сопротивление скольжению превышает половину величины сопротивления отрыву частиц и поэтому тело хрупко, то при повышении температуры сопротивление скольжению уменьшится и тело сделается пластичным. Наоборот, всякое пластичное тело при достаточном понижении температуры становится хрупким (рис. 82), так как сопротивление скольжению, возрастая при понижении температуры, в конце концов превысит половину сопротивления отрыву. Свинец, пластичный при комнатной температуре, становится хрупким при температуре жидкого воздуха.

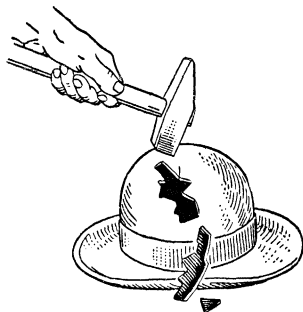


Рис. 82. Мягкая фетровая шляпа, опущенная в жидкий воздух, становится ломкой.

¹⁾ Когда мы растягиваем материал, то в плоскостях, ориентированных под углом в 45° к направлению растягивающего усилия, создаются напряжения, стремящиеся произвести сдвиг материала, величина этих напряжений (касательных сил в слое, действующих на единицу площади) в два раза меньше растягивающего напряжения. Действительно в плоскости под углом в 45° к направлению растягивающего усилия действует сила в $\cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$ раз меньшая, а площадь слоев, по которой она распределена, здесь в $\sqrt{2}$ раз больше.

Сопrotивление отрыву частиц, как было сказано, не зависит (или, точнее, мало зависит) от скорости деформации, тогда как *сопротивление скольжению довольно быстро возрастает при увеличении скорости деформации*. Поэтому тело, пластичное по отношению к медленным увеличениям нагрузки, становится хрупким в случае быстрой деформации. Так, например, цинк пластичен при медленном увеличении нагрузки и хрупок при быстрой деформации.

Сопrotивление скольжению в поликристаллических телах, в частности металлах, тем более велико (при прочих равных условиях), чем меньше величина зерен. Укрупнение зерен, которое может быть достигнуто выдерживанием металла при достаточно высокой температуре, делает металл более пластичным. При быстрой кристаллизации металлического расплава зерна получаютcя мелкие и металл оказывается менее пластичным. При чрезмерном переохлаждении расплава снова получается крупнозернистый металл.

На величину зерен, получающихся при кристаллизации расплава, кроме скорости охлаждения, сильно влияют посторонние примеси. Нерастворимые примеси часто содействуют образованию мелких зерен, что понижает пластичность металла. Но и при одинаковой величине зерен металл, содержащий нерастворимые примеси, характеризуется повышенным сопротивлением скольжению и поэтому является более хрупким, чем чистый металл.

Благодаря явлению наклепа и зависимости механических свойств от величины зерен сочетание холодной и термической обработки металла позволяет изменять в довольно широких пределах упругость, пластичность и прочность металла.

Прочность зависит не только от внутренних свойств тела, но и от состояния поверхности тела. Повреждения поверхности, трещины на поверхности, надломы, понятно, сильно снижают прочность образца.

Опыты, поставленные акад. А. Ф. Иоффе, установили, что прочность монокристаллов каменной соли во много раз возрастает при погружении кристалла в воду. Эти опыты показали, что низкая прочность каменной соли, наблюдаемая при испытании ее в сухом состоянии, объясняется действием поверхностных дефектов, более опасных для прочности, чем внутренние. Если же опыт производить, смачивая поверхность образца водой, то вследствие непрерывного растворения поверхностного слоя трещинки и другие поверхностные изъяны лишаются своего вредного действия и образец удается растянуть до появления пластической деформации. В сухих кристаллах прочность понижена наличием множества мелких, невидимых микротрещин. При выдерживании в воде вследствие процессов растворения и осаждения трещины исчезают и прочность кристалла возрастает до нормальной величины, которая может быть предвычислена из электрической теории строения кристаллов.

Давно уже было замечено, что в том случае, когда на металл действуют повторные нагрузки и разгрузки или знакопеременные усилия, разрушение наступает при напряжении, значительно (в два-три раза) меньшем предела прочности, определенного путем обычного статического испытания. Это явление было названо *усталостью* металлов. С явлением усталости приходится считаться при проектировании деталей, предназначенных нести знакопеременную или периодически изменяющуюся нагрузку: коленчатых валов, шатунов, поршневых штоков и т. п.

Твердость. Понятие твердости не получило еще точного определения. Обычно твердость характеризуют величиной сопротивления, которое тело оказывает проникновению в него какого-либо другого тела, имеющего либо заостренную форму, либо вообще такую форму, что площадь соприкосновения тел незначительна.

В минералогии распространен предложенный Моосом способ определения твердости по методу черты. Составлена «шкала твердости», а именно, избраны 10 минералов, которые расположены в следующий ряд:

- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1. Тальк | 6. Полевой шпат |
| 2. Гипс | 7. Кварц |
| 3. Известковый шпат | 8. Топаз |
| 4. Плавленый шпат | 9. Корунд |
| 5. Апатит | 10. Алмаз |

Каждый последующий минерал этой шкалы наносит черту — царапает каждый предыдущий минерал, если острым углом первого провести по поверхности второго. Твердость отмечают порядковыми номерами тех минералов, между которыми располагается испытуемое тело; например, отметка 5—6 (или $5\frac{1}{2}$) означает, что испытуемое тело царапает апатит и само получает царапину, если по поверхности его провести острым углом полевого шпата.

Другое определение твердости — по Бринелю — основано на измерении площади вмятия при вдавливании силой 3000 кг в поверхность исследуемого тела закаленного стального шарика диаметром в 1 см.

Нетрудно понять, что при измерении твердости по первому методу приходится иметь дело с сопротивлением отрыву частиц; при измеренных по второму — с сопротивлением скольжению, поэтому оба метода дают, вообще говоря, несравнимые результаты.

Самым твердым веществом (оставляющим царапину на алмазе) является *бразон*. Бразон получают из нитрида бора, подвергнутого давлению в 70 000 атм. Бразон выдерживает температуру до 1900°C (алмаз сгорает при 870°C).

Исследования акад. П. А. Ребиндера и его сотрудников показали, что можно подобрать растворы таких веществ, смачивание

которыми понижает «твердость» кристалла. Эти вещества, проникая в микротрещины, по-видимому, несколько расширяют их в тех частях, где, несмотря на наличие трещины, кристаллические поверхности оставались плотно прижатыми друг к другу; работа, необходимая для диспергирования (разламывания) кристалла, в результате уменьшается. При шлифовании в воде углеродистой стали добавка к воде натриевого мыла понижает работу диспергирования в $1\frac{1}{2}$ раза.

§ 47. Механические свойства важнейших материалов

Числа, приведенные в таблице на стр. 179, показывают, что наилучшими механическими свойствами, т. е. большой упругостью, прочностью и способностью выдерживать значительные деформации, обладают различные стали — сплавы

железа с углеродом, удельный вес которых к тому же очень велик (рис. 83).

Сталь обладает не только значительной прочностью, но и высокой упругостью. Так, например, к моменту разрыва стальной образец может испытать удлинение, доходящее до 34% первоначальной длины. Поэтому стальные детали можно подвергать значительным упругим деформациям, не боясь их излома. Единственными конкурентами сталей при сооружении легких конструкций, подвергающихся значительным упругим деформациям, являются сплавы алюминия, обладающие хорошими механическими свойствами и довольно высокой упругостью при очень низком удельном весе. Многие части самолетов делаются из сплавов алюминия — дуралюмина или кольчугалюмина. Однако высокосортные нержавеющие стали с успехом конкурируют в самолетостроении со сплавами алюминия, так как высокие механические качества

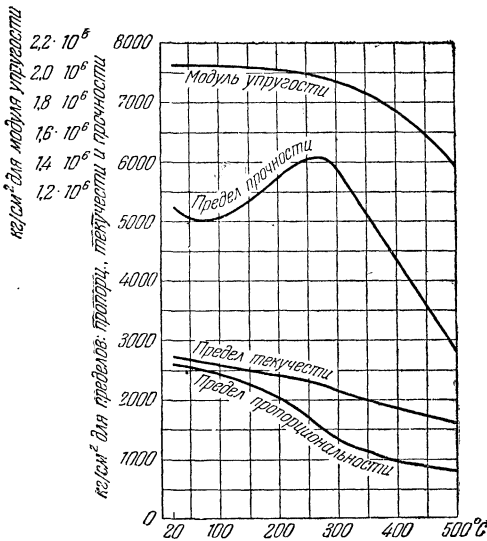


Рис. 83. Диаграмма, изображающая зависимость механических свойств стали от температуры.

этих сталей позволяют придавать деталям столь малые размеры, что вес конструкции из нержавеющей стали оказывается не больше веса конструкции из дуралюмина, а механические свойства стальных конструкций превосходят свойства дуралюминовых.

Одним из очень существенных достоинств сталей является их способность выдерживать любую механическую и термическую обработку: обточку, строжку, прессовку, поковку, сварку, закалку.

Дерево благодаря своему чрезвычайно малому удельному весу и высокой упругости — тоже ценный строительный материал. Недостатком деревянных конструкций являются их недолговечность и громоздкость. Преимуществом дерева в сравнении с другими строительными материалами являются удобства