

Тема 2 Механические характеристики материалов

Введение

При решении простейших задач на растяжение и сжатие мы уже встретились с необходимостью иметь некоторые исходные экспериментальные данные, на основе которых можно было бы построить теорию. К этим экспериментальным данным можно отнести модуль продольной упругости E , коэффициент поперечной деформации μ (коэффициент Пуассона), допускаемые напряжения $[\sigma]$ и другие.

В связи с этим создано много различных видов испытаний, но наиболее распространенными являются испытания на растяжение (рис. 2.1, а). Для некоторых строительных материалов – камня, цемента, бетона и т. д. – основными являются испытания на сжатие (рис. 2.1, б, в). При их помощи удастся получить наиболее важные характеристики материалов, находящие прямое применение в расчетной практике.

Для испытания используются специально изготовленные образцы с размерами, определенными ГОСТами (рис. 2.1).

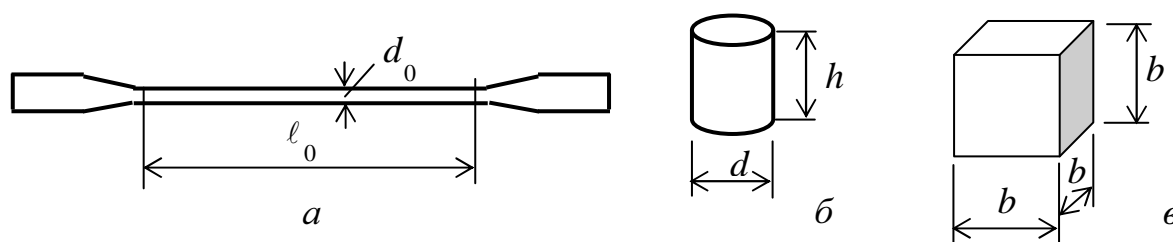


Рис. 2.1

Испытания производятся на машинах различных типов. В процессе испытания специальное устройство автоматически вычерчивает график, изображающий зависимость между действующей на образец (рис. 2.1, а) продольной силой и удлинением образца (рис. 2.2, а). Для более удобного изучения свойств материалов этот график представляют в виде условной диаграммы, построенной в координатах «напряжение – относительная деформация» (рис. 2.4, а), где ординаты уменьшены в « A_0 » раз, а абсциссы в « ℓ_0 » раз.

Диаграмма растяжения

На рис. 2.2, а представлена диаграмма растяжения малоуглеродистой стали (марки Ст. 3). Полученная кривая может быть условно разделена на следующие четыре зоны.

В зоне упругости материал подчиняется закону Гука и диаграмма представляет собой прямую линию. На рис. 2.2, а этот участок для большей

наглядности показан с отступлением от масштаба, поскольку удлинения и, следовательно, относительные деформации очень малы. Прямая, будучи вычерченной в масштабе, совпала бы в пределах ширины линии с осью ординат.

Далее идет зона общей текучести, включающая в себя горизонтальный участок диаграммы, который называется площадкой текучести. Здесь происходит существенное изменение длины образца без заметного увеличения нагрузки. Напряжение, соответствующее площадке текучести, называется *пределом текучести* σ_T (рис.2.3 , а), который представляет собой отношение силы, соответствующей площадке текучести, к первоначальной площади его

поперечного сечения: $\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}$, где $A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$.

Наличие площадки текучести для большинства металлов не является характерным. В этом случае за предел текучести принимается условно величина напряжения, при котором остаточная деформация $\varepsilon_{ост} = 0,002$ или 0,2% (рис.2.2 , б). В некоторых случаях устанавливается предел $\varepsilon_{ост} = 0,5\%$. Условный предел текучести обозначается через $\sigma_{0,2}$ или $\sigma_{0,5}$ в зависимости от принятой величины допуска на остаточную деформацию.

Предел текучести легко поддается определению и является одной из основных механических характеристик материала.

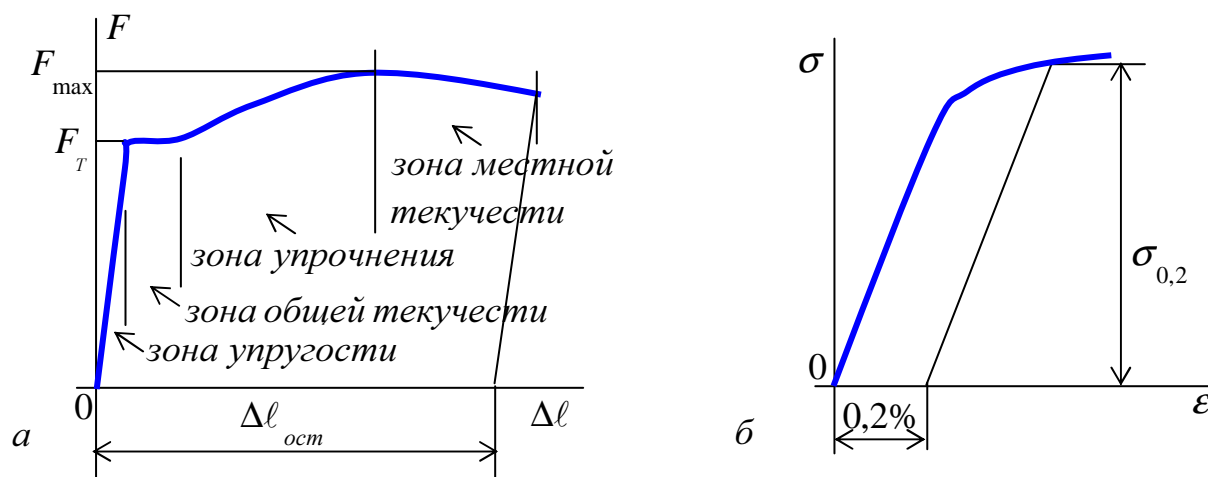


Рис.2.2

Участок диаграммы от конца площадки текучести до наивысшей точки называется зоной упрочнения. В зоне упрочнения (рис.2.2 , а) удлинение образца сопровождается возрастанием нагрузки, но неизмеримо более медленным (в сотни раз), чем на упругом участке. В стадии упрочнения на образце намечается место будущего разрыва и начинает образовываться так называемая *шейка* – местное сужение образца (рис.2.3).

Отношение наибольшей силы, которую выдерживает образец, к первоначальной площади его поперечного сечения называется *пределом прочности*,

или *временным сопротивлением*: $\sigma_{\sigma} = \frac{F_{\max}}{A_0}$ (рис. 2.4, а). В силу удобства и простоты ее определения она прочно вошла в расчетную практику как основная сравнительная характеристика прочностных свойств материала.

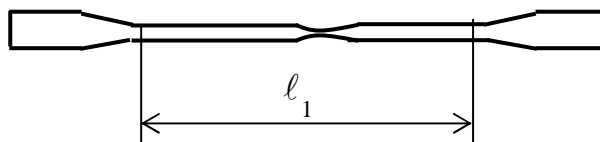


Рис. 2.3

Дальше удлинение образца носит местный характер, т.е. в пределах шейки, где и происходит разрыв образца. Поэтому последний участок диаграммы растяжения малоуглеродистой стали называется зоной местной текучести (рис. 2.2, а). Здесь условное напряжение уменьшается (рис. 2.4, а) соответственно уменьшению величины растягивающей силы (рис. 2.2, а). Истинное напряжение по сечению шейки при этом возрастает, как показано на рис. 2.4, а штриховой линией. Различие между истинным и условным напряжениями имеется и до образования шейки, но оно весьма мало и в расчетной практике не учитывается. Правый конец кривой соответствует разрушению образца. У многих материалов разрушение происходит без заметного образования шейки.

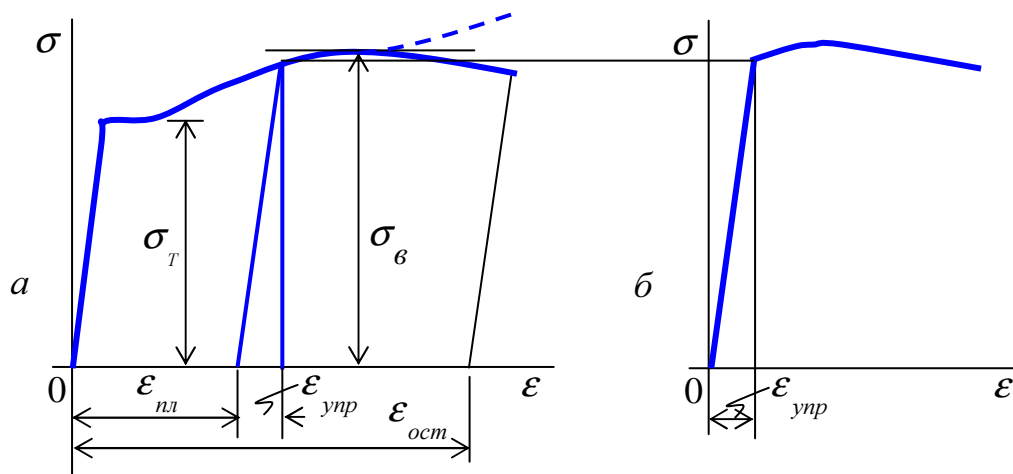


Рис. 2.4

Если испытываемый образец, не доводя до разрушения, разгрузить, то в процессе разгрузки зависимость $\sigma = f(\epsilon)$ изобразится прямой параллельной упругому участку диаграммы. При разгрузке видно, что $\epsilon = \epsilon_{упр} + \epsilon_{nl}$ (рис. 2.4, а) или $\Delta l = \Delta l_{упр} + \Delta l_{nl}$, т.е. удлинение полностью не исчезает. Оно умень-

шается на величину упругой части удлинения $\Delta\ell_{упр}$. Величину $\Delta\ell_{пл}$ называют остаточным удлинением или пластическим удлинением, а соответствующую ему деформацию $\varepsilon_{пл}$ пластической деформацией.

Если образец был нагружен в пределах упругого участка и затем разгружен, то удлинение будет чисто упругим, и $\Delta\ell = 0$.

При повторном нагружении образца диаграмма растяжения принимает вид прямой, параллельной упругому участку диаграммы, и далее по кривой. В результате получаем укороченную диаграмму (рис. 2.4, б). Весьма существенным является то, что в результате предварительной вытяжки материал приобретает способность воспринимать без остаточных деформаций большие нагрузки.

Явление повышения упругих свойств материала в результате предварительного пластического деформирования носит название *наклепа*, или *нагартовки*, и широко используется в технике. Если требуется снять наклеп, то деталь подвергается отжигу.

Материалы, разрушению которых предшествует возникновение значительных остаточных деформаций, называются *пластичными*. К ним, в частности, относится Ст. 3, диаграмма растяжения которой представлена на рис. 2.4, а.

Степень пластичности материала может быть охарактеризована так называемым удлинением при разрыве ($\delta\%$). Чем больше эта величина, тем пластичнее материал.

Удлинение при разрыве представляет собой величину средней остаточной деформации, которая образуется к моменту разрыва на определенной стандартной длине образца (ℓ_0).

Удлинение при разрыве будет следующим:

$$\delta = \frac{\ell_1 - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta\ell_{ост}}{\ell_0} \cdot 100\% ,$$

где ℓ_1 – длина образца после разрыва, измеряемая после соединения частей разорванного образца (рис. 2.3).

К числу весьма пластичных материалов относятся отожженная медь, алюминий, латунь, малоуглеродистая сталь и др.

Противоположным свойству пластичности является свойство *хрупкости*, т.е. способность материала разрушаться без образования заметных остаточных деформаций.

Материалы, обладающие этим свойством, называются *хрупкими*. К хрупким материалам относятся чугун, высокоуглеродистая инструментальная сталь, стекло, кирпич, камни и др.

Диаграмма сжатия

При испытании на сжатие разрушение образца из хрупких материалов происходит с образованием трещин по наклонным и продольным плоскостям (рис. 2.5, а – чугун, б – бетон, в – дерево).

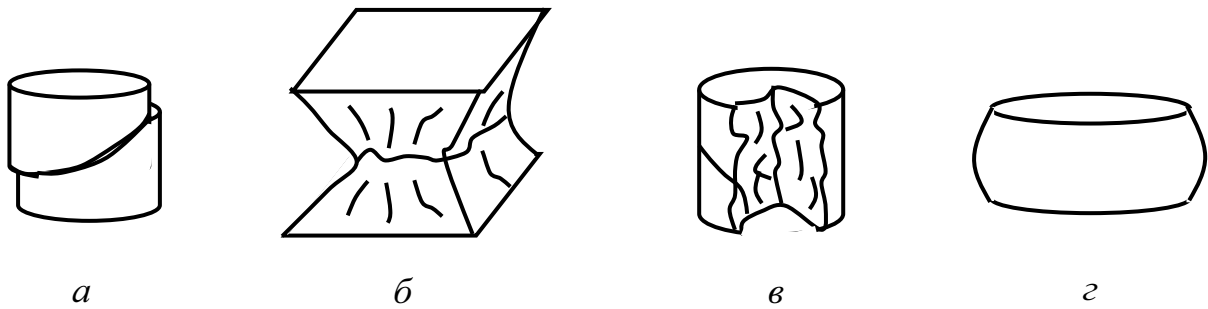


Рис. 2.5

Диаграмма сжатия этих материалов (рис. 2.6, а) сохраняет качественные особенности диаграммы растяжения. Предел прочности хрупкого материала при сжатии определяется так же, как и при растяжении. Сопоставление предела прочности хрупких материалов при сжатии с пределом прочности при растяжении показывает, что эти материалы обладают, как правило, более высокими прочностными показателями при сжатии, нежели при растяжении.

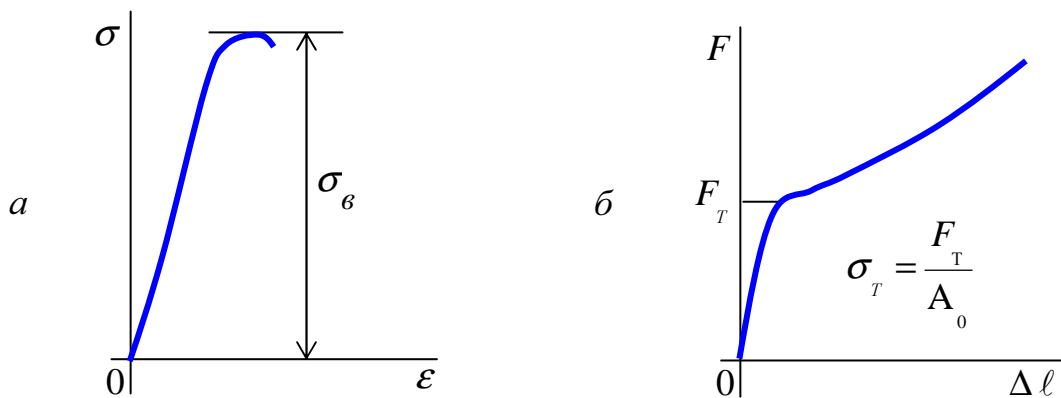


Рис. 2.6

Существуют материалы, способные воспринимать при растяжении большие нагрузки, чем при сжатии. Это обычно материалы, имеющие волокнистую структуру. – дерево и некоторые типы пластмасс. Этим свойством обладают и некоторые металлы, например магний.

Иначе ведут себя при сжатии пластичные материалы. На рис. 2.6, б представлена диаграмма сжатия малоуглеродистой стали. Здесь, как и для растяжения, обнаруживается площадка текучести с последующим переходом к зоне упрочнения. В дальнейшем, однако, нагрузка не падает, а резко возрастает. Происходит это в результате того, что образец расплющивается (рис. 2.5, г), и площадь его сечения увеличивается, в связи с чем увеличивается величина сжимающей силы. Довести образец до разрушения практически не удастся.

Таким образом, понятие предела прочности при сжатии пластичной стали лишено физического смысла. Пределы текучести при растяжении и сжатии для одной и той же пластичной стали практически одинаковы.

Деление материалов на пластичные и хрупкие является условным. В зависимости от условий испытания один и тот же материал может вести себя и как пластичный и как хрупкий. Например, чугунный образец при испытании на растяжение под большим давлением окружающей среды разрывается с образованием шейки. Многие горные породы, находящиеся под давлением вышележащих слоев, при сдвигах земной коры претерпевают пластические деформации.

В зависимости от условий эксплуатации конструкции может быть исследовано влияние на проявление свойств пластичности и хрупкости – времени нагружения (фактора времени), температурного воздействия и др.

Заметим, что все выше сказанное о свойствах материалов относится к испытаниям в так называемым нормальным условиям.

Коэффициент запаса

В результате испытания на растяжение и сжатие мы получаем основные данные о механических свойствах материала. Теперь рассмотрим вопрос о том, как использовать полученные результаты испытаний в практических расчетах инженерных конструкций на прочность.

Как уже отмечалось, основным и наиболее распространенным является метод расчета по напряжениям. Согласно этому методу, прочность конструкции считается обеспеченной, если наибольшее расчетное напряжение σ_{\max} , возникающее в некоторой точке конструкции, не превышает некоторой величины, свойственной данному материалу и условиям работы и называемой *допускаемым напряжением* $[\sigma]$: $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$.

Значение допускаемого напряжения устанавливается путем деления некоторого предельного для данного материала напряжения на число, большее единицы, называемое *коэффициентом запаса* или просто *запасом*: $[\sigma] = \sigma_{np} / n$.

Остается решить вопрос, какое напряжение принимать за предельное σ_{np} и как назначить величину коэффициентом запаса n .

Для того чтобы избежать в работающей конструкции образования заметных остаточных деформаций, за величину σ_{np} для пластичных материалов принимается обычно предел текучести. Коэффициент в этом случае обозначается через n_T и называется *коэффициентом запаса по текучести*:

$$[\sigma] = \sigma_{np} / n_T .$$

Для хрупких, а в некоторых случаях и умеренно пластичных материалов, за σ_{np} принимается предел прочности σ_{σ} . Тогда получаем

$$[\sigma] = \sigma_{\sigma} / n_{\sigma} ,$$

где n_{σ} – *коэффициент запаса по пределу прочности*.