

ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Механические характеристики материалов, то есть величины, характеризующие их прочность, пластичность, упругость, твердость, а также упругие постоянные E и ν , необходимые конструктору для выбора материалов и расчетов проектируемых деталей, определяют путем механических испытаний стандартных образцов, изготовленных из исследуемого материала.

Большая заслуга в установлении единообразных во всем мире методов испытаний материалов принадлежит русскому профессору Н.А. Белелюбскому (1845—1922) — президенту Международного общества испытания материалов.

Вопросы проведения лабораторных испытаний материалов в настоящей книге не излагаются, с ними читатель может ознакомиться в специальной литературе.

В данном параграфе мы подробно рассмотрим диаграмму, полученную в процессе наиболее распространенного и важного механического испытания, а именно испытания на растяжение низкоуглеродистой стали (например, стали Ст3) при статическом нагружении.

В процессе этого испытания специальное устройство испытательной машины автоматически вычерчивает диаграмму, выражающую зависимость между растягивающей силой и абсолютным удлинением, то есть в координатах $(F, \Delta l)$. Для изучения механических свойств материала независимо от размеров образца применяется диаграмма в координатах «напряжение — относительное удлинение» (σ, ϵ) . Эти диаграммы отличаются друг от друга лишь масштабами.

На рис. 2.6 представлена диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали. Эта диаграмма имеет следующие характерные точки.

Точка А соответствует пределу пропорциональности. **Пределом пропорциональности** $\sigma_{\text{пц}}$ называется то наибольшее напряжение, до которого деформации растут пропорционально нагрузке, то есть справедлив закон Гука (для стали Ст3 $\sigma_{\text{пц}} \approx 200$ МПа).

Точка С практически соответствует также и пределу упругости. **Пределом упругости** $\sigma_{\text{уп}}$ называется то наибольшее напряжение, до которого деформации практически остаются упругими.

Точка В соответствует пределу текучести. **Пределом текучести** $\sigma_{\text{т}}$ называется такое напряжение, при котором в образце появляется заметное удлинение без увеличения нагрузки (для стали Ст3 $\sigma_{\text{т}} \approx 240$ МПа).

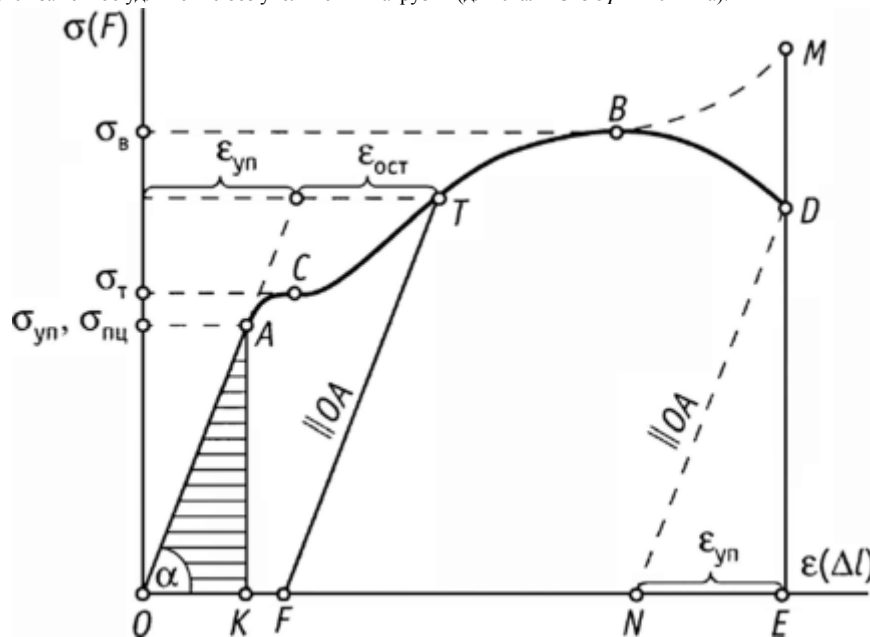


Рис. 2.6

При достижении предела текучести поверхность образца становится матовой, так как на ней появляется сетка линий Людерса — Чернова, наклоненных к оси под углом 45° . Эти линии впервые были описаны в 1859 г. немецким металлургом Людерсом и независимо от него в 1884 г. русским металлургом Д.К. Черновым (1839—1921), предложившим использовать их при экспериментальном изучении напряжений в сложных деталях. Предел текучести является основной механической характеристикой при оценке прочности **пластичных** материалов.

Точка В соответствует временному сопротивлению или пределу прочности.

Временным сопротивлением $\sigma_{\text{в}}$ называется условное напряжение, равное отношению максимальной силы, которую выдерживает образец, к первоначальной площади его поперечного сечения (для стали Ст3 $\sigma_{\text{в}} \approx 400$ МПа). При достижении временного сопротивления на растягиваемом образце образуется местное сужение — шейка, то есть начинается разрушение образца. В определении временного сопротивления говорится об условном напряжении, так как в сечениях шейки напряжения будут больше.

Пределом прочности $\sigma_{\text{тн}}$ называется временное сопротивление образца, разрушающегося без образования шейки. Предел прочности является основной механической характеристикой при оценке прочности **хрупких** материалов.

Точка D соответствует напряжению, возникающему в образце в момент разрыва во всех поперечных сечениях, кроме сечений шейки.

Точка M соответствует напряжению, возникающему в наименьшем поперечном сечении шейки в момент разрыва. Это напряжение можно назвать **напряжением разрыва**.

С помощью диаграммы растяжения в координатах (σ, ϵ) определяем модуль упругости первого рода:

$$E = \sigma / \epsilon = AK\mu_{\sigma} / (OK\mu_{\epsilon}) = (\mu_{\sigma} / \mu_{\epsilon}) \operatorname{tg} \alpha,$$

где ρ , — масштаб напряжений; ϵ — масштаб относительных удлинений; α — угол, который составляет с осью абсцисс прямая линия диаграммы до предела пропорциональности.

Для большинства углеродистых сталей предел пропорциональности можно приблизительно считать равным половине временного сопротивления.

Деформация образца за пределом упругости состоит из **упругой** и **остаточной**, причем упругая часть деформации подчиняется закону Гука и за пределом пропорциональности. Это проявляется в том, что если нагрузку снять, то образец укоротится в соответствии с прямой TF диаграммы. При повторном нагружении того же образца его деформация будет соответствовать диаграмме $FTBD$. Таким образом, при повторном растяжении образца, ранее нагруженного выше предела упругости, механические свойства материала

меняются, а именно — повышается прочность (предел упругости и пропорциональности) и уменьшается пластичность. Это явление называется **наклёпом**.

В некоторых случаях наклеп нежелателен (например, при пробивке отверстий под заклепки увеличивается возможность появления трещин возле отверстий), в других случаях наклеп создается специально (например, цепи подъемных машин, арматура железобетонных конструкций, провода, тросы подвергаются предварительной вытяжке за предел текучести). Проволока, полученная волочением, в результате наклепа имеет значительно большую прочность, чем точеный образец из того же материала.

Степень пластичности материала может быть охарактеризована (в процентах) **остаточным относительным удлинением** δ и **остаточным относительным сужением** ψ шейки образца после разрыва;

$$\delta = [(l_p - l_0) / l_0] \cdot 100\%,$$

$$\psi = [(A_0 - A_{ш}) / A_0] \cdot 100\%,$$

где l_0 — первоначальная длина образца; l_p — длина образца после разрыва; A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца; $A_{ш}$ — площадь наименьшего поперечного сечения шейки образца после разрыва.

Чем больше δ и ψ , тем пластичнее материал.

Материалы, обладающие очень малой пластичностью, называют **хрупкими**. Диаграмма растяжения хрупких материалов не имеет площадки текучести, у них при разрушении не образуется шейка.

Диаграмма сжатия стали до предела текучести совпадает с диаграммой растяжения, причем результаты испытаний стальной на растяжение и сжатие равноценны.

Результаты испытаний на растяжение и сжатие чугуна значительно отличаются друг от друга; предел прочности при растяжении в 3...5 раз ниже, чем при сжатии. Иными словами, чугун значительно хуже работает на растяжение, чем на сжатие.

Отметим, что ярко выраженную площадку текучести имеют только диаграммы растяжения низкоуглеродистой стали и некоторых сплавов цветных металлов. На рис. 2.7 показан для сравнения вид диаграмм растяжения сталей с различным содержанием углерода; из рисунка видно, что с повышением процента содержания углерода увеличивается прочность стали и уменьшается ее пластичность.

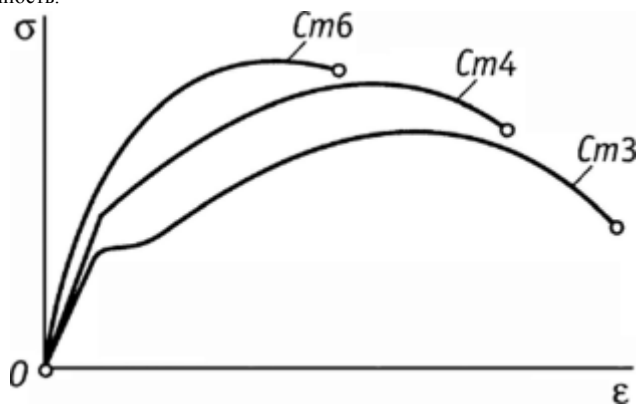


Рис. 2.7

Для пластичных материалов, диаграммы растяжения которых не имеют ярко выраженной площадки текучести (средне- и высокоуглеродистые, легированные стали) или совсем ее не имеют (медь, дюралюминий), вводится понятие **условного предела текучести** — напряжения, при котором относительное остаточное удлинение образца равно 0,2%. Условный предел текучести также обозначим через $\sigma_{0.2}$ (иногда его обозначают $\sigma_{0.002}$).

Следует отметить, что деление материалов на пластичные и хрупкие условно, так как в зависимости от характера действующей нагрузки хрупкий материал может получить пластические свойства, и, наоборот — пластичный материал приобретает свойства хрупкого. Так, например, деталь из пластичного материала при низкой температуре или при ударной нагрузке разрушается без образования шейки, как хрупкая.

Ползучесть. Последствие. Релаксация напряжений

Все конструкционные (то есть обладающие прочностью) материалы при длительной эксплуатации, даже при постоянных условиях нагружения, в большей или меньшей степени могут медленно, самопроизвольно и необратимо изменять свои деформации и напряжения. Это свойство материалов называется **ползучестью**.

Если ползучесть возникает при постоянных напряжениях, то это необратимое явление называется **последствием**.

Если происходит изменение напряжений при постоянной деформации, то процесс носит название **релаксации напряжений**, то есть их уменьшения.

Примером последствия может служить увеличение размеров лопаток газовых турбин, длительное время работающих при больших центробежных силах в условиях высоких температур. Примером релаксации напряжений может служить происходящий с течением времени процесс ослабления затяжки болтовых соединений, в особенности работающих в условиях высоких температур.

Для сталей и чугунов при температуре до 300 °С явление ползучести несущественно. Для металлов с низкой температурой плавления (свинец, алюминий), для бетона, дерева и для высокополимерных материалов (резина, каучук, пластмасса) ползучесть весьма заметна и при комнатных температурах.

Основными механическими характеристиками ползучести материалов являются установленные экспериментальным путем предел ползучести и предел длительной прочности.

Пределом ползучести $\sigma_{пч}$ называется наибольшее напряжение, при котором деформация происходит за промежуток времени, не превышающий предельного значения, заданного техническими условиями.

Пределом длительной прочности $\sigma_{дл}$ называется условное напряжение, равное отношению нагрузки, при которой происходит разрушение испытываемого образца через определенный промежуток времени, к первоначальной площади поперечного сечения образца.

Время испытаний образцов зависит от условий работы конструкций и происходит в течение десятков, сотен и тысяч часов.