



Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация»

Кафедра РК5 «Прикладная механика»

РАБОТА № 1
ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ

Испытания на растяжение образцов материалов проводятся с целью экспериментального определения механических характеристик: предела текучести σ_T , предела прочности σ_B , истинного сопротивления разрыву S_k , относительного удлинения δ и относительного сужения ψ после разрыва.

Краткие теоретические сведения.

При испытании на растяжение образец определенной формы и размеров из исследуемого материала прочно закрепляется своими концами (головками) в захватах испытательной машины и подвергается непрерывному плавному деформированию до разрушения. При этом регистрируется зависимость между растягивающей нагрузкой и удлинением расчетной части образца в виде диаграммы растяжения образца. Для испытаний на растяжение применяют стандартные образцы по ГОСТ 1497, который предусматривает семь типов образцов. Один из типов представлен на рис. 1.1.

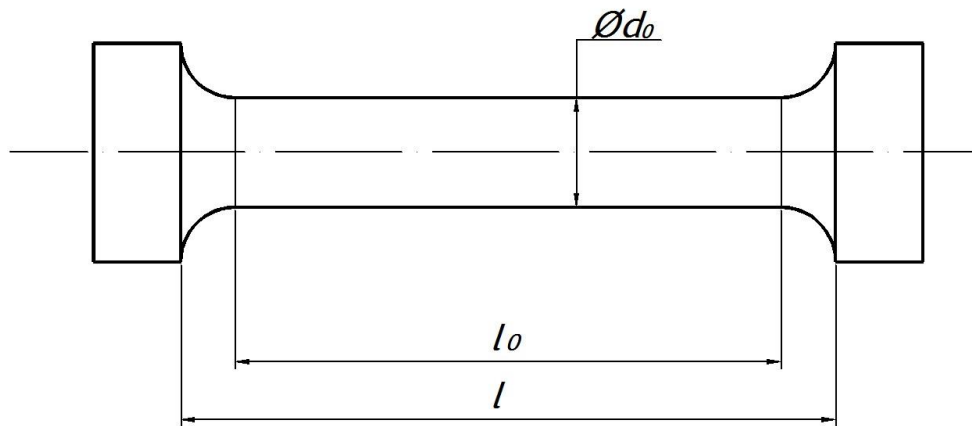


Рис. 1.1 Эскиз образца

d_0 – диаметр расчетной части образца,

l_0 – длина расчетной части образца,

l – длина рабочей части образца.

Должно соблюдаться соотношение $l \geq l_0 + d_0$.

Отношение l_0 к d_0 должно быть строго определенным. В ГОСТ 1497 предусмотрено

$$\frac{l_0}{d_0} = 10 \quad \text{или} \quad \frac{l_0}{d_0} = 5.$$

Для определения механических характеристик материалов используют испытательные машины. Применяют разрывные и универсальные испытательные машины всех систем при условии их соответствия требованиям ГОСТ.

При проведении испытаний должны соблюдаться следующие основные условия: качественное центрирование образца в захватах испытательной машины, плавность деформирования, скорость перемещения активного захвата при испытании до предела текучести не более 0,1, за пределом текучести - не более 0,4 длины расчетной части образца в минуту, возможность приостанавливать нагружение с точностью до одного наименьшего деления шкалы силоизмерителя, плавность разгрузки. Кинематическая схема испытательной машины с электромеханическим силовозбудителем представлена на рис. 1.2.

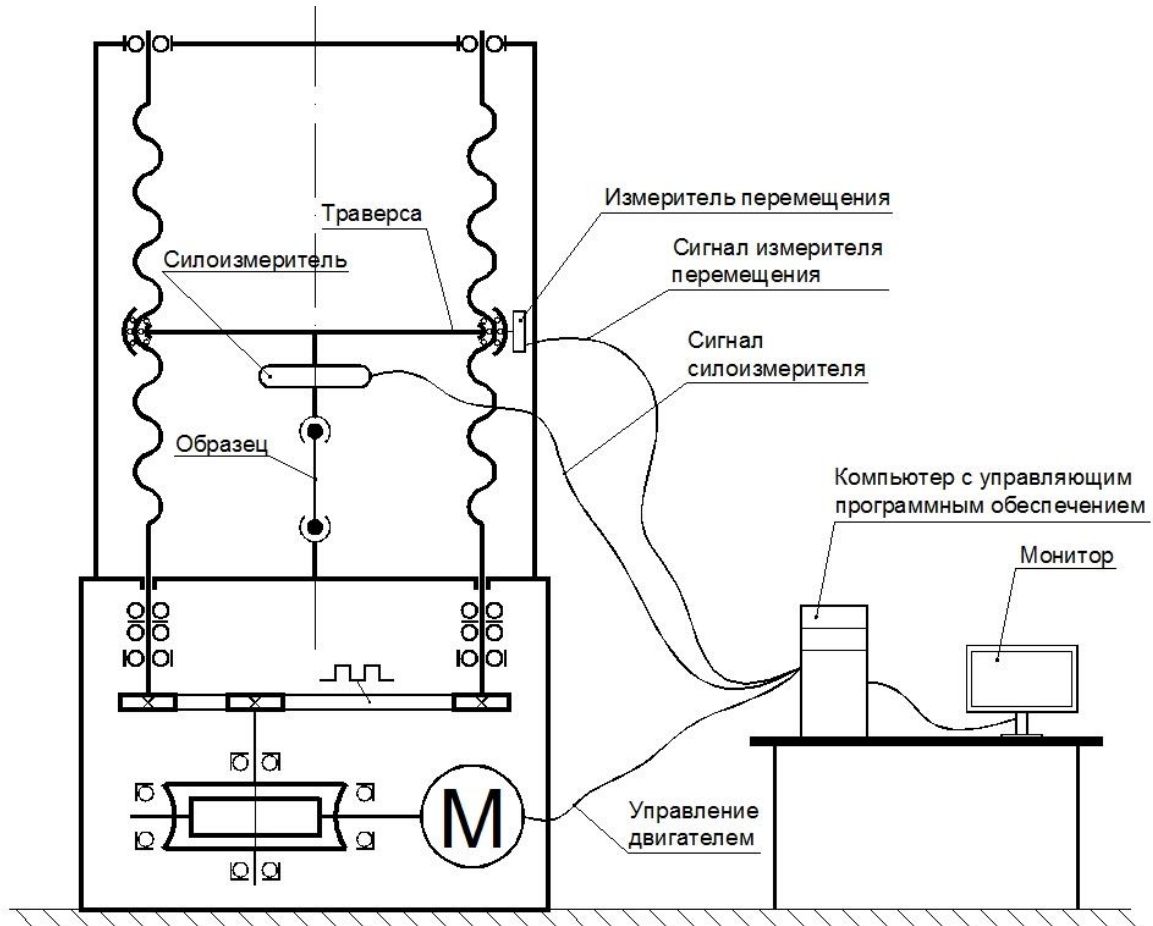


Рис. 1.2 Схема испытательной машины.

Диаграммы растяжения образцов из низкоуглеродистой стали ($C \leq 0,3\%$), конструкционной стали ($C \geq 0,35\%$) и серого чугуна приведены на рис. 1.3а, 1.3б, 1.3в.

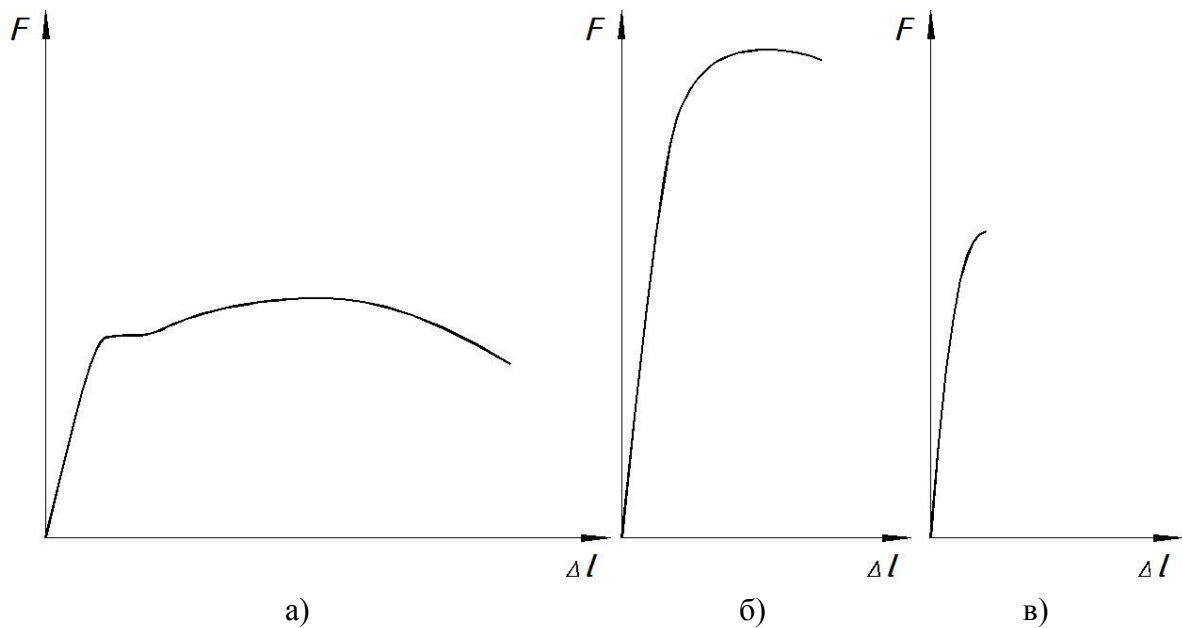


Рис. 1.3 Диаграммы растяжения образцов:

- а) низкоуглеродистая сталь,
- б) конструкционная сталь,
- в) чугун.

Рассмотрим более подробно диаграмму растяжения образца из низкоуглеродистой стали (рис.1.4). На начальном участке диаграммы между силой F и удлинением Δl соблюдается прямая пропорциональная зависимость – образец подчиняется закону Гука. В некоторой точке диаграммы закон Гука нарушается: зависимость между силой и удлинением становится нелинейной. На диаграмме имеется горизонтальный участок, называемый “площадкой текучести”. В этой стадии испытания образец удлиняется (деформируется) практически при постоянной силе. Это явление называется “текучестью”, при этом образец деформируется равномерно по всей длине его рабочей части. Затем “площадка текучести” заканчивается, и начинается “участок упрочнения”. В конечной точке этого участка достигается максимальная сила, которую может выдержать образец. Далее начинается “участок разрушения” или “участок местной текучести”. На образце появляется местное утонение (шейка). Диаметр шейки уменьшается по мере деформирования образца, и образец рвется по наименьшему сечению шейки.

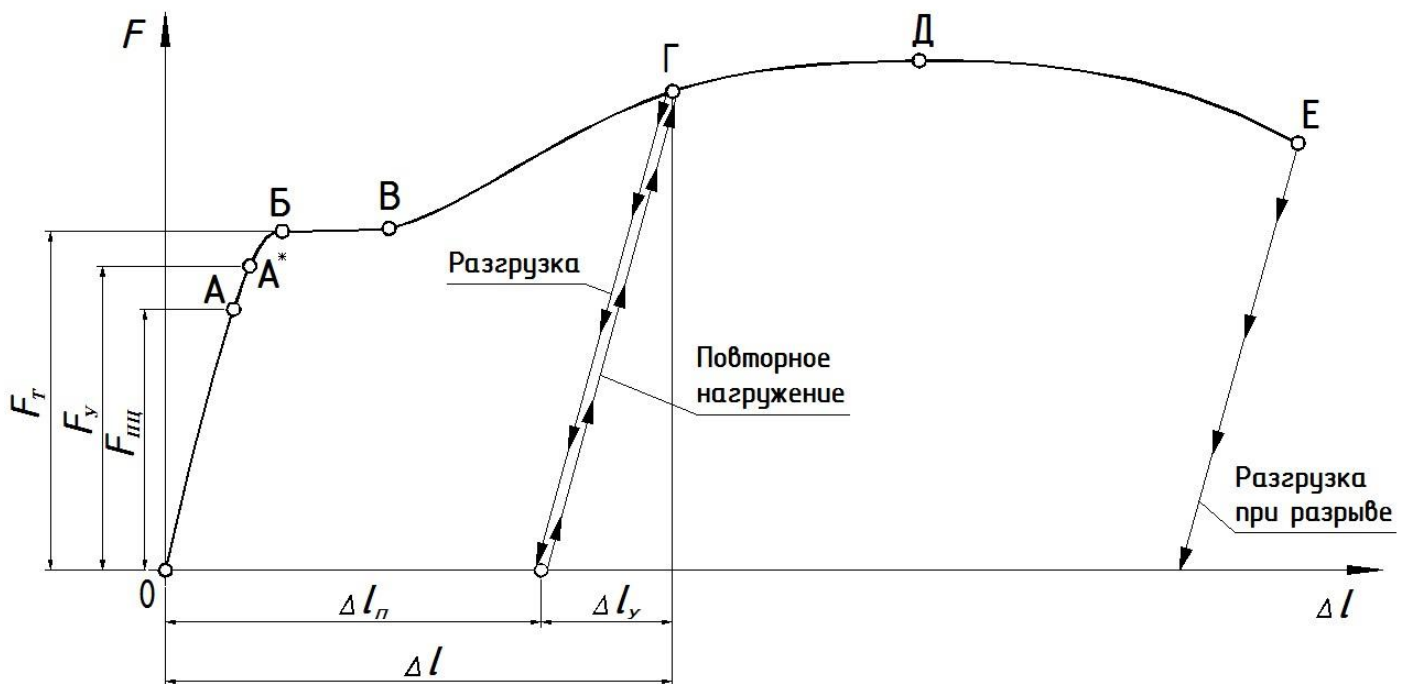


Рис. 1.4 Диаграмма растяжения образца из низкоуглеродистой стали.

Если при испытании на растяжение нагружение приостановить, например, в точке Γ диаграммы (рис. 1.4) и осуществить разгрузку образца, то окажется, что диаграмма разгрузки и диаграмма предыдущего нагружения не совпадают. Линия разгрузки - прямая, параллельная начальному линейному участку диаграммы растяжения образца. Такой характер деформирования образца при его разгрузке называется законом разгрузки.

При повторном нагружении диаграмма до точки Γ совпадает с линией разгрузки, а затем будет совпадать с диаграммой растяжения образца при однократном нагружении.

Такой характер деформирования называется законом повторного нагружения и заключается в прямой пропорциональной зависимости силы и удлинения, которая сохраняется до значения силы, достигнутой при первичном нагружении.

При разгрузке образца в пределах участка OA^* законы нагружения, разгрузки и повторного нагружения совпадают.

Удлинение образца при его деформировании за точкой A^* диаграммы складывается из упругого и пластического удлинений (рис.1.4), т.е.

$$\Delta l = \Delta l_y + \Delta l_{\text{п}} ,$$

где $\Delta l, \Delta l_y, \Delta l_{\text{п}}$ - полное, упругое и пластическое удлинения расчетной части образца.

При разгрузке образца, получившего упругое и пластическое удлинения, упругое удлинение уменьшается, в соответствии с законом разгрузки, а пластическое сохраняется неизменным.

Диаграмма растяжения образца позволяет оценить поведение материала образца в упругой и упруго-пластической стадиях деформирования, а так же определить механические характеристики материала.

Для получения численно сопоставимых между собой механических характеристик материалов диаграммы растяжения образцов перестраивают в диаграммы растяжения материалов, т.е. в зависимости между напряжением σ и деформацией ε , которые определяются по формулам

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},$$

где F - сила, действующая на образец,

A_0, l_0 - начальная площадь поперечного сечения и начальная длина расчетной части образца.

Диаграмма растяжения материала, полученная при этих условиях (без учета изменения размеров расчетной части образца), называется условной диаграммой растяжения материала в отличие от действительной диаграммы растяжения, которую получают с учетом изменений размеров образца. Диаграмма растяжения материала зависит от его структуры, условий испытаний (температуры, скорости деформирования).

Для низкоуглеродистой стали диаграмма растяжения приведена на рис. 1.5.

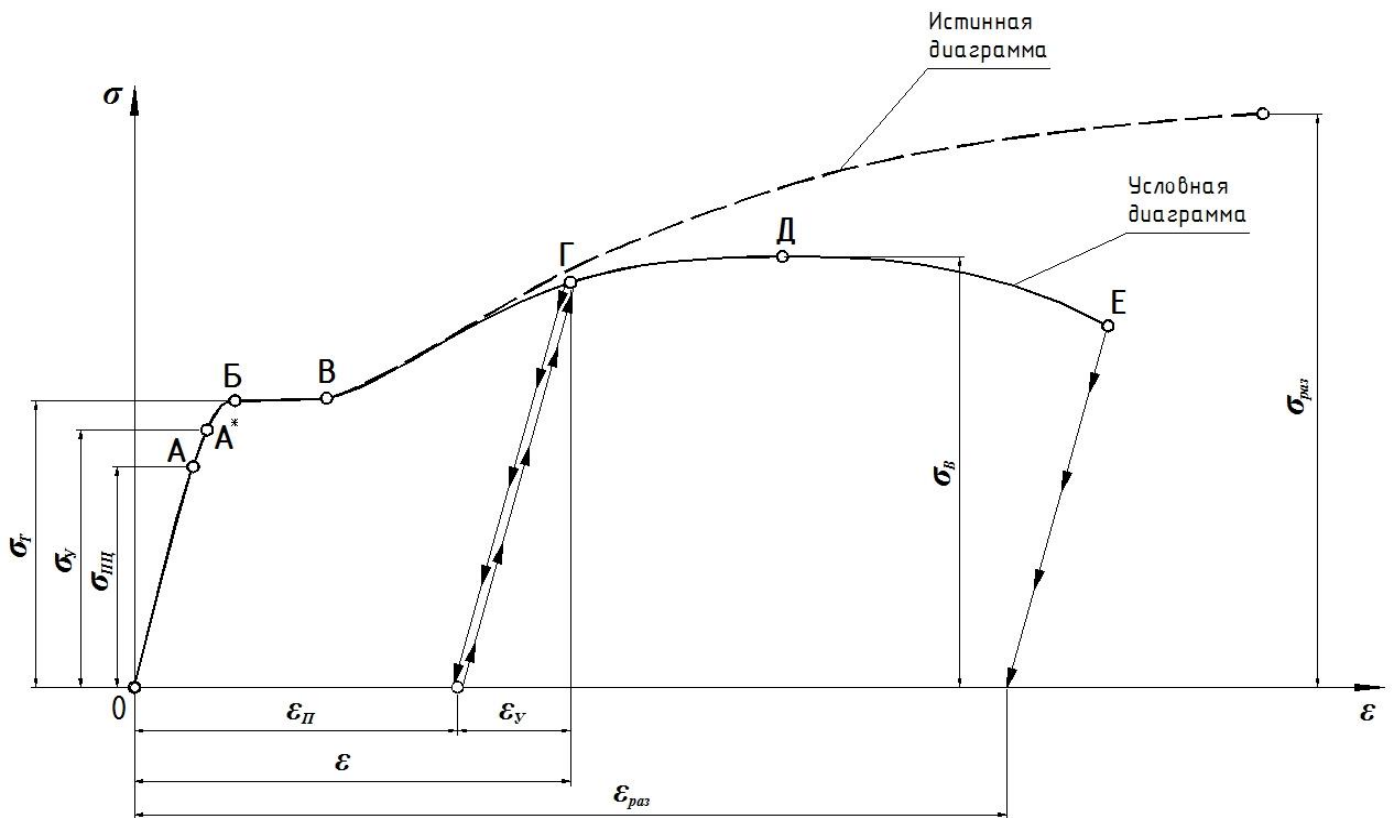


Рис. 1.5 Диаграммы растяжения материала (низкоуглеродистая сталь).

В пределах участка ОА диаграммы соблюдается закон Гука, т.е.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon.$$

Коэффициент пропорциональности E называется модулем упругости 1-го рода, или модулем Юнга. Он характеризует сопротивление материала упругим деформациям. Эта величина является постоянной упругости материала.

Закон Гука нарушается в точке A диаграммы. Ордината этой точки имеет особое наименование - предел пропорциональности.

Пределом пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$ называется наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука. Воспользоваться этим определением предела пропорциональности для практического вычисления его значения, по существу, невозможно. Поэтому вводится понятие условного (технического) предела пропорциональности. Его оценивают как напряжение, при котором отступление от прямой пропорциональной зависимости между напряжением и деформацией достигает определенной величины.

Условным (техническим) пределом пропорциональности называется напряжение $\sigma_{\text{пц}}$, при котором тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ в 1,5 раза больше тангенса угла наклона линейного участка этой диаграммы (угол отсчитывается от оси σ) (рис. 1.6).

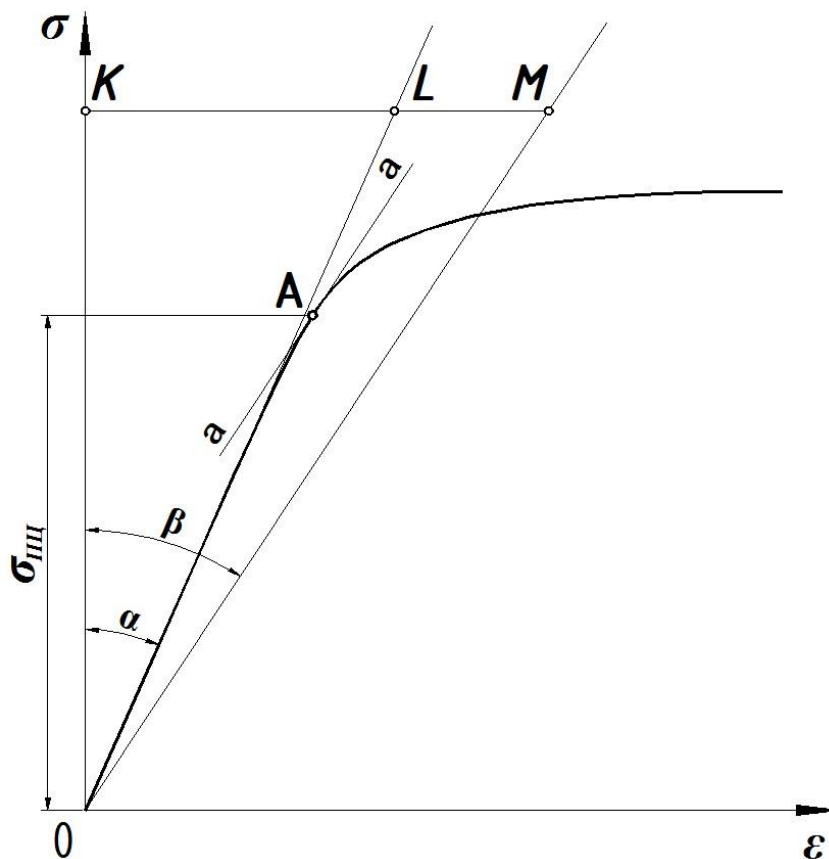


Рис. 1.6 Определение условного предела пропорциональности.

При некотором превышении предела пропорциональности все деформации продолжают оставаться упругими, т.е. полностью исчезающими, если напряжение снизить до нуля. Наибольшее напряжение, до которого все деформации в материале упругие, называется пределом упругости σ_y . На практике пользуются условным пределом упругости.

Условным (техническим) пределом упругости $\sigma_{0,01}$ называется напряжение, при котором остаточная (пластическая) деформация составляет 0,01%. Для нахождения на диаграмме точки A^* (рис. 1.7.), соответствующей пределу упругости, необходимо воспользоваться законом разгрузки и повторного нагружения.

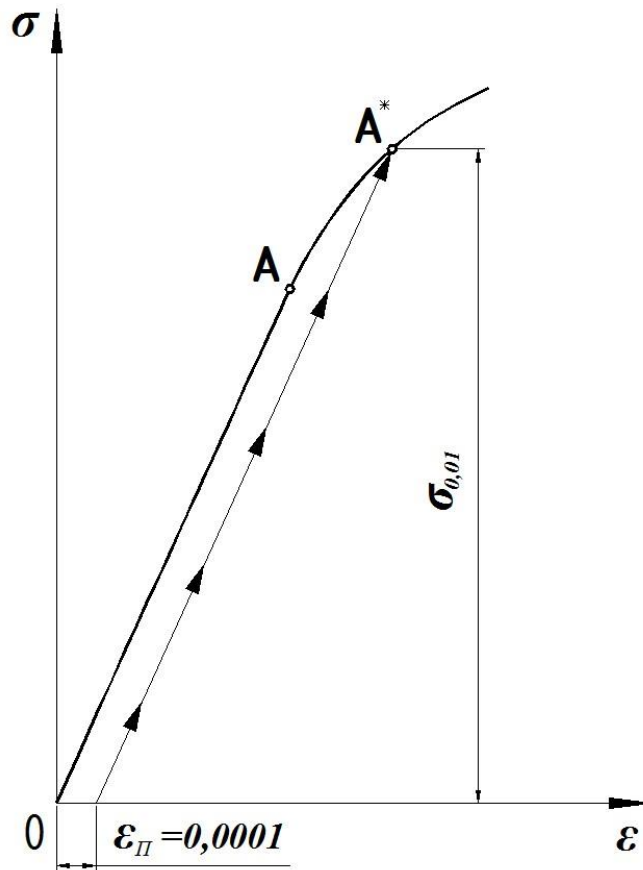


Рис. 1.7 Определение условного предела упругости.

Площадке текучести диаграммы растяжения низкоуглеродистой стали соответствует напряжение σ_T , называемое пределом текучести.

Пределом текучести (физическим) σ_T называется напряжение, при котором в материале интенсивно накапливаются остаточные (пластические) деформации, причем этот процесс идет при почти постоянном напряжении.

При отсутствии площадки текучести (диаграммы растяжения большинства материалов) определяют условный (технический) предел текучести.

Условным (техническим) пределом текучести $\sigma_{0,2}$ называется напряжение, при котором остаточная (пластическая) деформация составляет 0,2%.

Условный предел текучести определяется аналогично пределу упругости (рис. 1.8).

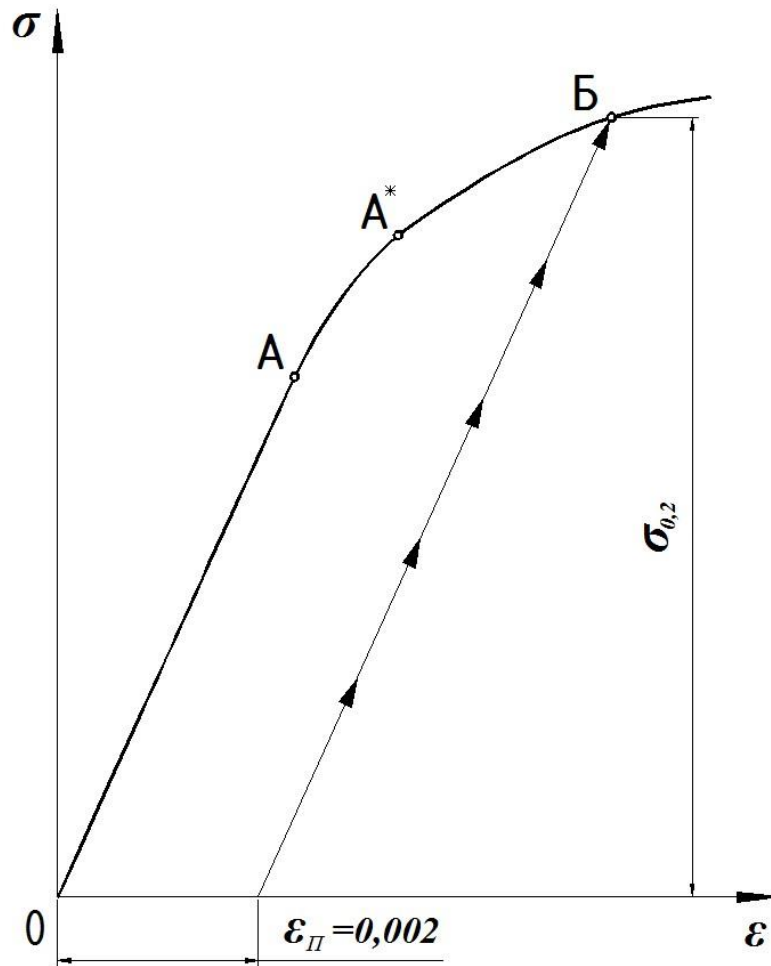


Рис. 1.8 Определение условного предела текучести.

Участок ВГД диаграммы растяжения материала (рис. 1.5) имеет максимум в точке Д. Ордината этой точки называется условным пределом прочности (временным сопротивлением) и определяется как:

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}.$$

Для материалов, находящихся при данных условиях в пластичном состоянии, предел прочности σ_B не равен действительному напряжению в материале образца, так как к моменту достижения F_{\max} площадь поперечного сечения образца существенно уменьшается. До образования шейки (точка Д диаграммы) деформация расчетной части образца равномерная и состоит из упругой (обратимой) и пластической (остаточной) (рис.1.5).

Напряженное состояние до образования шейки является одноосным: в площадках, совпадающих с поперечным сечением, имеются нормальные растягивающие напряжения, во всех площадках, перпендикулярных поперечному сечению, напряжения равны нулю. Существенно, что напряжения во всех точках одного сечения одинаковы, и внутренние силы во всех сечениях на рабочем участке равны. На конечном участке деформирования (после возникновения шейки) происходит локализация деформаций в шейке, в остальной части образца она практически не увеличивается. Деформация в шейке неоднородная, имеет высокий градиент вдоль оси образца. Напряженное состояние также становится неоднородным, кроме того, оно изменяется качественно - становится трехосным. Внутри шейки напряженное состояние – трехосное растяжение.

Образец разрывается по наименьшему поперечному сечению шейки (рис. 1.9) при напряжении, существенно превышающем предел прочности. Это напряжение называется истинным сопротивлением разрыву:

$$S_k = \frac{F_{\text{раз.}}}{A_{\text{min}}},$$

где $F_{\text{раз}}$ – сила, при которой образец разрывается,

A_{min} – площадь поперечного сечения шейки в месте разрыва,

$$A_{\text{min}} = \frac{\pi d_{\text{min}}^2}{4}.$$

Пластические свойства материалов оцениваются двумя характеристиками:

δ – относительным удлинением после разрыва:

$$\delta = \frac{l_{\text{раз.}} - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где $l_{\text{раз.}}$ – длина расчетной части образца после разрыва,

l_0 – длина расчетной части образца до испытания.

Относительным сужением после разрыва:

$$\psi = \frac{A_0 - A_{\text{min}}}{A_0} \cdot 100\%,$$

где A_0 – площадь поперечного сечения расчетной длины образца до испытаний.

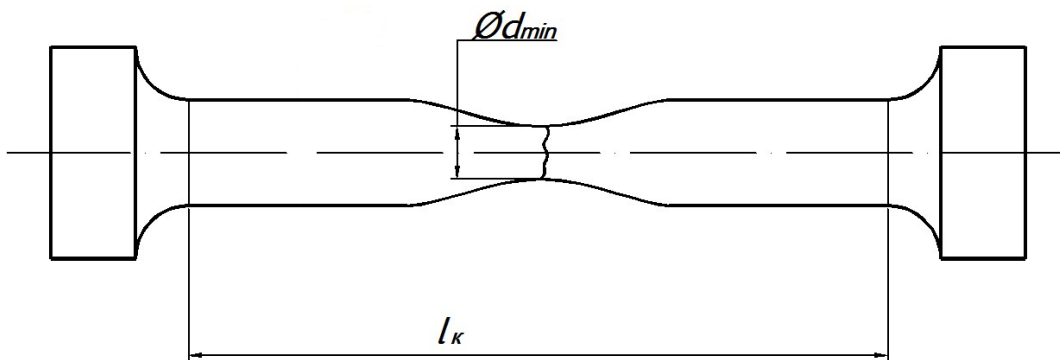


Рис. 1.9 Эскиз разрушенного образца.

Методика определения механических характеристик материалов, имеющих диаграммы растяжения, отличные от диаграммы растяжения малоуглеродистой стали, остается без изменений.

Обработка машинной диаграммы

Диаграмма растяжения образца, отображаемая на экране ПЭВМ, называется машинной диаграммой растяжения образца и содержит значительную погрешность, вызванную методом измерения удлинения рабочей части образца. Удлинение рабочей части образца измеряется по перемещению подвижной траверсы испытательной машины. Для определения механических характеристик материала преобразованная машинная диаграмма предоставляется двумя частями на бумаге формата А4. На первом листе диаграмма отображается полностью от начала деформирования образца до его разрушения, на втором листе – от начала деформирования до конца площадки текучести.

Последовательность обработки машинной диаграммы растяжения образца:

1. Продолжить линейный (начальный) участок диаграммы (лист №1) до верхней и нижней границ координатной сетки (точки L и O).
2. Вычислить масштабы диаграммы по осям F и Δl , записать их на полях формата А4 вблизи конечных величин F и Δl ($M_F, \frac{H}{\text{мм}}$; $M_{\Delta l}, \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$).
3. Определить упругое удлинение рабочей части образца для силы F_0 по формуле
$$\Delta l_0 = \frac{F_0 \cdot l}{E \cdot A_0},$$
где $F_0, \text{Н}$ – значение силы, соответствующее верхней границе координатной сетки;
 $l, \text{мм}$ – расстояние между головками образца до испытания;
 $E = 2 \cdot 10^5$ (для стали);
$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$
 - начальная площадь поперечного сечения образца.
4. Отложить отрезок Δl_0 в масштабе $M_{\Delta l}$ от точки L влево (точка N).
5. Соединить точки O и N прямой. От этой прямой отсчитываются полные удлинения рабочей части образца.
6. Аналогичные операции провести для полной диаграммы (лист №2).

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Измерить диаметр d_0 рабочей части испытуемого образца. Длину расчетной части образца l_0 принять равной длине рабочей части образца l , т.е. равной расстоянию между головками образца. Изменение именно этого размера фиксирует на диаграмме испытательная машина в качестве Δl .
2. Провести испытание и получить машинную диаграмму.
3. Измерить разрушенный образец (диаметр шейки $d_{\text{мин}}$ и конечную длину рабочей части l_k). Для оценки конечной длины рабочей части следует соединить части разрушенного образца и измерить расстояние между его головками.
4. Распечатать полученную машинную диаграмму деформирования на двух листах бумаги формата А4. Определить масштабы по осям машинной диаграммы.
5. Обработать машинную диаграмму в соответствии со схемой, представленной ранее. Наметить на диаграмме шесть точек (А, Б, В, Г, Д, Е):
точка А соответствует условному пределу пропорциональности;
точка Б соответствует пределу текучести (физическому или условному);
точка В соответствует концу площадки текучести;
точка Г – промежуточная между точками В и Д;
точка Д соответствует максимальной силе F_{max} ;
точка Е соответствует разрыву образца.
6. Результаты обработки занести в журнал и произвести все вычисления в порядке, указанном в журнале. В качестве предела текучести и предела прочности принять напряжения, соответствующие точкам Б и Д диаграммы (рис. 1.5).
7. По результатам обработки и расчетов построить диаграмму растяжения материала.