

Лекция 2.4 СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

1 Испытание на растяжение

Для определения основных характеристик прочности металлы испытывают на растяжение по стандарту [1]. Образец 1, изготовленный из испытуемого металла, устанавливают в захваты 2 испытательной машины (рисунок 1, а). Образец имеет: длину рабочей части – l_p , начальную расчетную длину – l_0 , начальный диаметр – d_0 , начальную площадь поперечного сечения – F_0 . К образцу прикладывают постепенно возрастающую осевую растягивающую нагрузку P . Под действием нагрузки расчетная длина образца получает абсолютное удлинение Δl (рисунок 1, б).

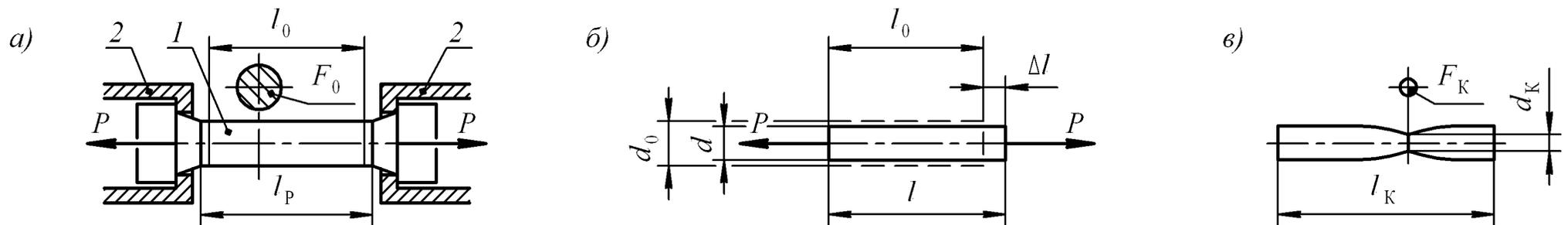


Рисунок 1 – Испытания металлов на растяжение: 1 – стандартный образец, 2 – захваты испытательной машины

$D1$ **относительная продольная деформация, ε** : Отношение абсолютного удлинения расчетной длины Δl образца к его начальной расчетной длине l_0 .

Продольная деформация образца сопровождается поперечной деформацией – диаметр стержня уменьшается на величину Δd .

D2 относительная поперечная деформация, ε_1 : Отношение абсолютной поперечной деформации Δd стержня к его начальному диаметру d_0 .

D3 коэффициент Пуассона, μ : Отношение относительной поперечной деформации ε_1 образца к его относительной продольной деформации ε .

Относительная продольная деформация ε , относительная поперечная деформация ε_1 и коэффициент Пуассона μ определяются по формулам:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad \varepsilon_1 = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}, \quad \mu = - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}, \quad (1)$$

Коэффициент Пуассона является одной из характеристик материала. Он может меняться в пределах $0 \dots 0,5$. Для большинства конструкционных материалов $\mu \approx 0,3$.

Под действием нагрузки P в сечении рабочей части образца, перпендикулярном его оси, возникает нормальное напряжение σ , равное

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad (2)$$

Зависимость между действующей на образец растягивающей нагрузкой и вызываемой ею деформацией показывает диаграмма растяжения (рисунок 2). Диаграммы строятся в координатах абсолютное удлинение – нагрузка (рисунок 2, *а*) или относительная продольная деформация – напряжение (рисунок 2, *б, в*). На рисунках 2, *а, б* изображены диаграммы для пластичных металлов (например, для малоуглеродистой стали). Для одного и того же металла эти диаграммы имеют одинаковый вид (с точностью до масштаба).

На диаграммах рисунков 2, *а, б* можно отметить несколько характерных точек. До точки *А* абсолютное удлинение образца прямо пропорционально усилию (нагрузке), а относительная деформация – напряжению. Такая зависимость называется законом пропорциональности или законом Гука. Математически этот закон записывается так:

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (3)$$

где E – модуль упругости (модуль Юнга).

Измеряется модуль упругости в единицах напряжения – Па. Соответствующее точке *A* напряжение называют пределом пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$.

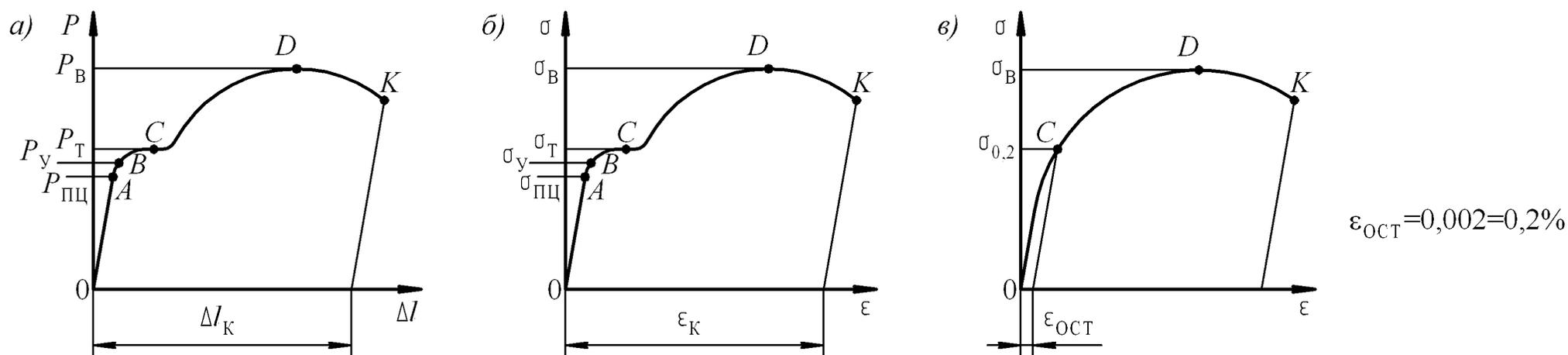


Рисунок 2 – Диаграммы растяжения

До точки *B* деформации образцу будут упругими. После этой точки в образце появляются остаточные деформации. Соответствующее точке *B* напряжение называют пределом упругости σ_y .

Точкой *C* на диаграмме отмечено начало горизонтального участка. Образец увеличивается в длину без заметного увеличения нагрузки (материал течет). Соответствующее горизонтальному участку напряжение называют физическим пределом текучести σ_T .

Точка *D* отмечает наибольшую нагрузку, которую может выдержать образец. Соответствующее напряжение называют временным сопротивлением или пределом прочности σ_B .

Предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести и предел прочности определяют по формулам:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad \sigma_y = \frac{P_y}{F_0}, \quad \sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \quad \sigma_B = \frac{P_B}{F_0} \quad (4)$$

Предел упругости может обозначаться также $\sigma_{0,002}$, $\sigma_{0,005}$, где цифры – величина остаточной деформации, при которой определялся предел упругости.

Многие материалы горизонтального участка на диаграмме растяжения не имеют (рисунок 2, в). Для таких материалов определяется условный предел текучести – напряжение, при котором остаточное удлинение начальной расчетной длины образца достигает некоторой определенной, заранее установленной величины 0,2% (или 0,1%, или 0,5%). Обозначение условного предела текучести – $\sigma_{0,2}$ (или $\sigma_{0,1}$, или $\sigma_{0,5}$).

Точки A , B и C на диаграмме расположены близко друг к другу, поэтому предел упругости и предел пропорциональности часто приравнивают друг к другу или к пределу текучести.

У пластичных материалов при достижении точки D в образце в месте наименьшего сопротивления образуется шейка. Дальнейшее удлинение сосредотачивается в этой шейке. До образования шейки удлинение образца и сужение его поперечного сечения происходило равномерно по всей рабочей части. Разрыв образца из пластичных металлов происходит по шейке при нагрузке P_K (рисунок 2, в). Разрушившийся образец характеризуют следующие геометрические параметры.

конечная расчетная длина образца l_K ;

диаметр образца после разрыва d_K ;

;площадь поперечного сечения образца после разрыва F_K .

Для оценки пластических свойств материала применяют следующие относительные величины.

Относительное удлинение после разрыва δ

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (5)$$

Относительное сужение после разрыва ψ

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100\% \quad (6)$$

Относительное удлинение при разрыве зависит от отношения длины испытываемого образца к его диаметру, поэтому это отношение обычно указывают в обозначении. Так относительное удлинение δ_5 получено испытанием образца, длина которого в 5 раз превышает его диаметр.

Относительное удлинение после разрыва и относительное сужение после разрыва характеризуют пластичность металла. Чем больше эти величины, тем более пластичен материал.

Хрупкие металлы сжатию сопротивляются гораздо лучше, чем растяжению. Например, у серых чугунов предел прочности при сжатии больше предела прочности при растяжении в 4 – 8 раз. Малоуглеродистые стали обыкновенного качества, как показывают опыты, одинаково хорошо сопротивляются растяжению и сжатию. Это же можно сказать практически обо всех металлах, применяемых для деталей механических систем РЭС.

2 Определение твердости материалов и сплавов

Особенностью испытаний на твердость является их простота и то, что они могут проводиться на готовых деталях (не только на специальных образцах), при этом деталь сохраняет свою работоспособность. Наиболее широко распространены методы измерения твердости по Виккерсу [2], Бринеллю [3] и Роквеллу [4].

Сущность метода измерения твердости по Бринеллю заключается во вдавливании шарика (стального или из твердого сплава) в образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени (рисунок 3, а), и измерении диаметра отпечатка после снятия нагрузки (рисунок 3, б).

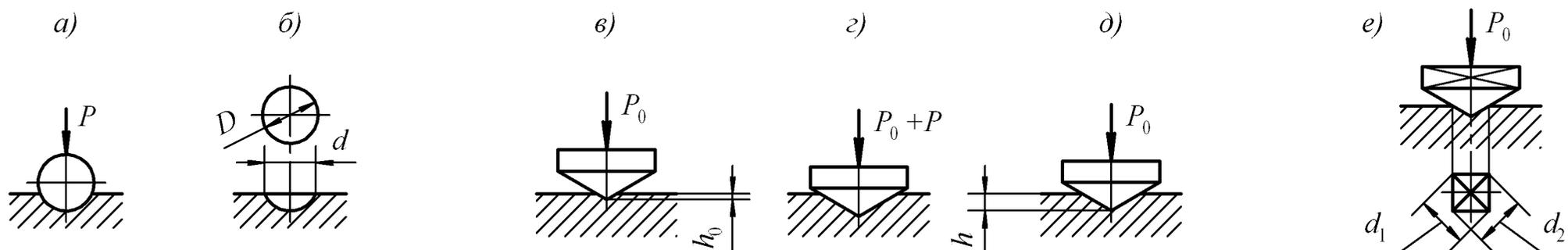


Рисунок 3 – Определение твердости металлов: а) – б) по Бринеллю; в) – д) по Роквеллу; е) по Виккерсу

Твердость по Бринеллю определяется по формуле

$$HB(HBW) = \frac{0,102P}{A} = \frac{0,204P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (7)$$

где P – нагрузка, Н; A – площадь отпечатка, мм²; D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

При определении твердости по Бринеллю шариком диаметром 10 мм при усилии 29420 Н (3000 кгс) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с твердость обозначают только числовым значением твердости и символом *HB* (если шарик стальной) или символом *HBW* (если шарик из твердого сплава), например, 185 *HB*, 600 *HBW*.

При других условиях испытаний указывают также диаметр шарика, значение прилагаемого усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15. Примеры обозначения:

250 *HB* 5/750 – твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усилии 7355 Н (750 кгс) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

575 *HBW* 2,5/187,5/30 – твердость по Бринеллю 575, определенная при применении шарика из твердого сплава диаметром 2,5 мм, при усилии 1839 Н (187,5 кгс) и продолжительности выдержки 30 с.

Между твердостью по Бринеллю и пределом прочности пластичных материалов существует зависимость:

$$\sigma_B = k \cdot HB, \quad (8)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Для стали с твердостью до 175 *HB* $k=0,34$; для стали с твердостью выше 175 *HB* $k=0,35$; для отожженной меди, бронзы и латуни $k=0,55$; для алюминиевых сплавов $k=(0,36 \dots 0,38)$.

Сущность метода измерения твердости по Роквеллу заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) наконечника в форме алмазного конуса (шкалы *A*, *C*, *D*) или стального закаленного шарика (шкалы *B*, *E*, *F*, *G*, *H*, *K*) под действием последовательно прилагаемых предварительной P_0 и основной P_1 нагрузки и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основной нагрузки (P_1) (рисунок 3, *в* – *д*) [5].

Под действием предварительной нагрузки P_0 наконечник внедряется в образец на глубину h_0 (рисунок 3, *в*). Затем прилагается основная нагрузка P_1 , и глубина погружения наконечника возрастает (рисунок 3, *з*). После снятия основной нагрузки глубина погружения будет h (рисунок 3, *д*). За единицу твердости по Роквеллу принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Число твердости по шкалам *C* и *A* определяют по формуле

$$HRC(HRA) = 100 - \frac{h - h_0}{0,002}; \quad (9)$$

по шкале B по формуле

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0,002}, \quad (10)$$

где h_0 – глубина внедрения шарика или призмы в испытуемый материал под действием предварительной нагрузки P_0 (рисунок 3, в);

h – глубина внедрения шарика или призмы в испытуемый материал под действием общей нагрузки $P_0 + P$ (рисунок 3, з), измеренная после снятия основной нагрузки P с оставлением предварительной нагрузки P_0 (рисунок 3, д).

Практически твердость по Роквеллу определяют по циферблату индикатора, имеющегося на приборе.

Твердость по Роквеллу обозначают символом HR с указанием шкалы твердости, которому предшествует значение твердости из трех значащих цифр, например: 61,5 HRC – твердость по Роквеллу 61,5 единиц по шкале C .

Измерение твердости по Виккерсу основано на вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды в образец (изделие) под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени, и измерении диагоналей отпечатка d_1 и d_2 , оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки (рисунок 5, е, ж).

Твердость по Виккерсу (HV) вычисляют по формуле

$$HV = \frac{0,189P}{d^2}, \quad (11)$$

где P – нагрузка, Н; $d = (d_1 + d_2)/2$, мм.

Твердость по Виккерсу при условиях испытаний $P = 294,2$ Н (30 кгс) и времени выдержки 10 – 15 с обозначают цифрами, характеризующими величину твердости и буквами HV , например, 500 HV .

При других условиях испытания после букв HV указывается величина нагрузки и время выдержки. Например, 220 HV 10/40 – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке 98,07 Н (10 кгс) и времени выдержки 40 с.

С помощью таблицы 1 числа твердости, полученные разными методами, можно сравнивать между собой.

Таблица 1 – Ориентировочное соответствие чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу [6]

<i>HB</i>	<i>HRC</i>	<i>HV</i>									
143	–	144	196	–	197	286	30	285	444	47	474
146		147	202		201	293	31	291	460	48	502
149		149	207	18	209	302	33	305	477	49	534
153		152	212	19	213	311	34	312	495	51	551
156		154	217	20	217	321	35	320	512	52	587
159		159	223	21	221	332	36	335	532	54	606
163		162	229	22	226	240	37	344	555	56	649
166		165	235	23	235	351	38	361	578	58	694
170		171	241	24	240	364	39	380	600	59	746
174		174	248	25	250	375	40	390	627	61	803
179		177	255	26	255	387	41	401	652	63	867
183		183	262	27	261	402	43	423	–	65	940
187		186	269	28	272	418	44	435		67	1021
192		190	277	29	278	430	45	460		69	1114

Список использованных источников

- 1 ГОСТ 1497 – 84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
- 2 ГОСТ 2999 – 75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
- 3 ГОСТ 9012 – 59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
- 4 ГОСТ 9013 – 59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
- 5 Золоторевский В. С. Механические испытания и свойства металлов: учеб. пособие для вузов. М., 1974.
- 6 Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1. М., 1978.

Николай Михайлович Бобков – преподаватель Нижегородского радиотехнического колледжа, конструктор Нижегородского научно-производственного объединения имени М. В. Фрунзе.

E-mail: n.bobkov@mail.ru