

№ 2322

# **Механические свойства металлов**

Статические испытания

Лабораторный практикум

**№ 2322**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра металловедения цветных металлов

# **Механические свойства металлов**

Статические испытания

Лабораторный практикум

Допущено учебно-методическим объединением  
по образованию в области металлургии в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению Металлургия



Москва 2013

УДК 669.017  
М55

Рецензент  
д-р техн. наук, проф. *Н.И. Колобнев (МАТИ)*

*Авторы:* В.С. Золоторевский, В.К. Портной, А.Н. Солонин,  
А.С. Просвиряков

**Механические свойства металлов : статические испытания :**  
М55 лаб. практикум / В.С. Золоторевский, В.К. Портной, А.Н. Солонин, А.С. Просвиряков. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2013. – 116 с.

Практикум содержит шесть лабораторных работ, связанных с основными механическими испытаниями на растяжение, сжатие, изгиб, твердость, микротвердость, ползучесть и длительную прочность. Студенты приобретают практические навыки проведения этих испытаний и анализа полученных результатов.

Содержание соответствует программе курса «Механические свойства металлов».

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия».

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Лабораторная работа 1. Статические испытания на растяжение, сжатие, изгиб и анализ диаграмм деформации.....	5
Лабораторная работа 2. Расчет диаграмм истинных напряжений по первичным кривым растяжения.....	33
Лабораторная работа 3. Измерение твердости.....	39
Лабораторная работа 4. Измерение микротвердости.....	58
Лабораторная работа 5. Испытания на длительную прочность и замедленное разрушение .....	69
Лабораторная работа 6. Испытания на ползучесть и определение вклада внутризеренной и межзеренной деформации в общее удлинение при ползучести .....	82
Приложение 1. Таблица перевода чисел твердости .....	101
Приложение 2. Числа твердости по Бринеллю.....	103
Приложение 3. Числа твердости по Виккерсу.....	108
Приложение 4. Минимальная толщина образцов для разных чисел твердости .....	114
Приложение 5. Числа микротвердости при испытании вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды при нагрузке 50 г .....	115

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Настоящий лабораторный практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия». В результате выполнения лабораторных работ студенты получают практические навыки проведения важнейших механических испытаний и учатся анализировать результаты этих испытаний.

Изменения и дополнения, внесенные в настоящее издание практикума, связаны, главным образом, с заменой испытательного оборудования на более современное.

Во всех лабораторных работах студенты выполняют индивидуальные задания, защита работ также проводится индивидуально.

# Лабораторная работа 1

## СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ, СЖАТИЕ, ИЗГИБ И АНАЛИЗ ДИАГРАММ ДЕФОРМАЦИИ

(3 часа)

### 1.1. Цель работы

Знакомство с методикой проведения различных видов статических механических испытаний. Сравнительная оценка свойств сплавов по результатам испытаний на растяжение, сжатие и изгиб. Приобретение навыков расчета механических свойств по диаграммам деформации.

### 1.2. Теоретическая часть

Разные виды механических испытаний, в зависимости от напряженного состояния в рабочей части образца, характеризуются различным коэффициентом «мягкости» ( $\alpha$ ). По Я.Б. Фридману:

$$\alpha = \frac{t_{\max}}{S_{\max}^n}, \quad (1.1)$$

где  $t_{\max} = \frac{(S_1 - S_3)}{2}$  – истинное максимальное касательное напряжение;

$S_{\max}^n = S_1 - \nu(S_2 + S_3)$  – наибольшее приведенное главное нормальное напряжение;

$S_1$ ,  $S_3$  и  $S_2$  – наибольшее, наименьшее и среднее главные нормальные истинные напряжения;

$\nu$  – коэффициент Пуассона, который при одноосном растяжении характеризует отношение поперечной относительной деформации к продольной. Если исходный радиус образца  $r_0$ , а длина  $l_0$ , то после некоторой деформации они изменятся соответственно

$$\text{до } r_1 < r_0 \text{ и } l_1 > l_0, \text{ тогда: } \nu = \frac{(r_0 - r_1)/r_0}{(l_1 - l_0)/l_0} = \frac{\Delta r/r_0}{\Delta l/l_0}.$$

Для металлов коэффициент Пуассона  $\nu \approx 0,25$ , поэтому

$$\alpha = \frac{(S_1 - S_3)}{2S_1 - 0,5(S_2 + S_3)}. \quad (1.2)$$

Величина  $\alpha$ , как видно из формул (1.1) и (1.2), зависит от соотношения касательных и нормальных, а также растягивающих и сжимающих напряжений в схеме напряженного состояния. Чем больше относительный вклад касательных и сжимающих напряжений по сравнению, соответственно, с нормальными и растягивающими, тем больше способность данного материала пластически деформироваться. Иными словами, один и тот же материал при испытании, характеризующемся большим  $\alpha$ , должен проявить большую пластичность.

По формуле (1.2) легко рассчитать коэффициенты мягкости для одноосного растяжения (0,5) и сжатия (2). Статическое испытание на изгиб характеризуется промежуточным значением  $\alpha$ .

При механических испытаниях образец подвергается вначале упругой, затем пластической деформации. Стадия упругой деформации имеет место при всех без исключения видах механических испытаний. Согласно известному закону Гука, на этой стадии соблюдается прямая пропорциональность между приложенным к образцу напряжением и величиной его упругой деформации.

На рис. 1.1 показаны начальные (упругие) участки кривых напряжение – деформация при одноосном растяжении для двух разных металлов (1 и 2). Наклон каждой прямой, т.е коэффициент пропорциональности, связывающий напряжение и деформацию при растяжении, характеризует модуль нормальной упругости (модуль Юнга):

$$E = \frac{S}{e} \quad (1.3)$$

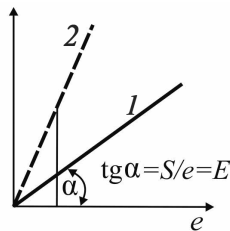


Рис. 1.1. Упругие участки кривых напряжение – деформация при одноосном растяжении

Модуль упругости определяет жесткость материала, т.е. интенсивность увеличения напряжения по мере упругой деформации. Соответственно, чем больше угол  $\alpha$  прямого участка, тем выше модуль (см. рис. 1.1,  $E_2 > E_1$ ).

### 1.2.1. Испытания на растяжение

Испытания на одноосное растяжение – наиболее широко используемый вид испытания для оценки механических свойств металлов и сплавов. Одноосное растяжение сравнительно легко подвергается анализу, позволяет в одном опыте определить сразу несколько важных механических характеристик материала, являющихся критерием его качества и нужных для конструкторских расчетов.

Для проведения испытания на растяжение необходимо иметь образец и испытательную машину, которая объединяет механизмы, нагружающие образец и измеряющие величину прилагаемых нагрузок.

Образец должен иметь такую форму, чтобы в пределах определенной части его объема во время испытания создавалось линейное напряженное состояние растяжения. Рабочая часть образца представляет собой цилиндрический или прямоугольный стержень. Производящие растяжение силы должны давать две равнодействующие, приложенные в центре тяжести сечения образца и направленные строго по его оси.

Осуществление линейного растяжения рабочей части образца позволяет пользоваться простейшими формулами для расчета нормальных и касательных напряжений. Условное нормальное напряжение в поперечном сечении образца определяется по формуле  $\sigma = P/F_0$ , где  $P$  – растягивающее образец усилие, а  $F_0$  – площадь начального поперечного сечения образца. Условное наибольшее касательное напряжение  $\tau_{\max} = \sigma/2$ . Истинное напряжение  $S = P/F$ , где  $F$  – площадь наименьшего из сечений по длине образца, находящегося под нагрузкой  $P$ . Истинное напряжение  $S$  при испытании на растяжение, как правило, больше условного напряжения  $\sigma$  из-за постепенного уменьшения во время испытания величины сечения образца ( $F_0 > F$ ).

Для испытаний на растяжение используют образцы с круглым или прямоугольным сечением. На рис. 1.2 показаны примеры стандартизированной формы круглых и плоских (с прямоугольным сечением) образцов (ГОСТ 1497–84). Кроме рабочей части, образцы чаще всего имеют головки той или иной конфигурации. Форма и размеры головки и переходной части между ней и рабочей частью должны подбираться в зависимости от конструкции захватов испытательной машины таким образом, чтобы перекос образца при растяжении был минимальным.



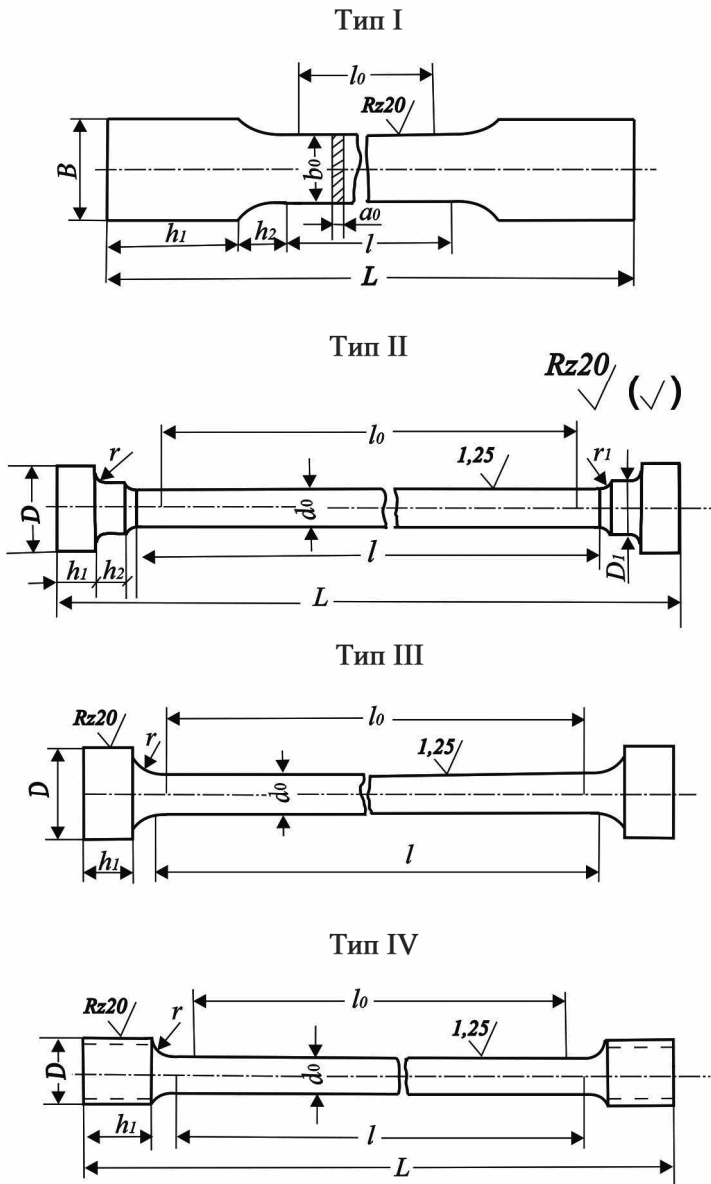


Рис. 1.2. Стандартные образцы для испытаний на растяжение (ГОСТ 1497-84)

На рабочей длине образца  $l$  наносится расчетная длина  $l_0$ . По увеличению этой длины при испытании определяют удлинение образца. При испытаниях на растяжение применяют образцы с начальной расчетной длиной  $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$  или  $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ , диаметром 3 мм и более или толщиной 0,5 мм и более. Образцы с расчетной длиной  $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$  называются короткими или пятикратными ( $l_0 = 5d_0$ ), а с расчетной длиной  $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$  – длинными или десятикратными ( $l_0 = 10d_0$ ). Рабочая длина цилиндрических образцов должна быть не меньше  $l = l_0 + d_0$ , а плоских – не меньше  $l = l_0 + b_0/2$ , где  $b_0$  – исходная ширина образца.

В качестве основных (или нормальных) образцов с цилиндрической рабочей частью применяют образцы с диаметром  $d_0 = 10$  мм и начальной расчетной длиной  $l_0 = 100$  мм (длинные) и  $l_0 = 50$  мм (короткие). Образцы всех других размеров называют пропорциональными. Наиболее широко используют «гагаринские» образцы (рис. 1.2, тип III) с диаметром на рабочей длине  $d_0 = 6$  мм и расчетной длиной  $d_0 = 30$  мм. Из плоских чаще всего используют вырезанные из листа образцы с конфигурацией типа I (см. рис. 1.2) с толщиной 1...2 мм и расчетной длиной  $l_0 = 50...70$  мм.

Основным результатом испытания на растяжение является первичная диаграмма растяжения в координатах нагрузка  $P$  (сопротивление деформации) – абсолютная деформация (удлинение  $\Delta l$ ). Диаграмма растяжения в целом наиболее полно описывает поведение материала образца в процессе испытания, начиная с упругой деформации и кончая разрушением. По диаграмме растяжения рассчитывают все основные характеристики сопротивления деформации и разрушению: пределы пропорциональности, упругости и текучести, временное сопротивление (условный предел прочности), истинное сопротивление разрыву, степень деформационного упрочнения, работу деформации образца и другие. С помощью диаграммы растяжения оценивают также некоторые характеристики пластичности.

Вид первичных диаграмм растяжения различен у разных материалов. На рис. 1.3 схематично показаны три основных типа диаграмм растяжения поликристаллов. Диаграмма на рис. 1.3, *a* характерна для материалов, разрушающихся хрупко, без заметной пластической деформации, на рис. 1.3, *б* – для материалов, равномерно деформирующихся вплоть до разрушения, на рис. 1.3, *в*, когда после равномерной начинается сосредоточенная пластическая деформация в образующейся шейке, где происходит

разрушение. Возрастание нагрузки до момента разрушения (см. рис. 1.3, б) или до максимума (см. рис. 1.3, в) может быть либо плавным (сплошные линии, см. рис. 1.3), либо прерывистым. В последнем случае на диаграмме может, в частности, появиться зуб и площадка текучести (пунктир, см. рис. 1.3, б, в).

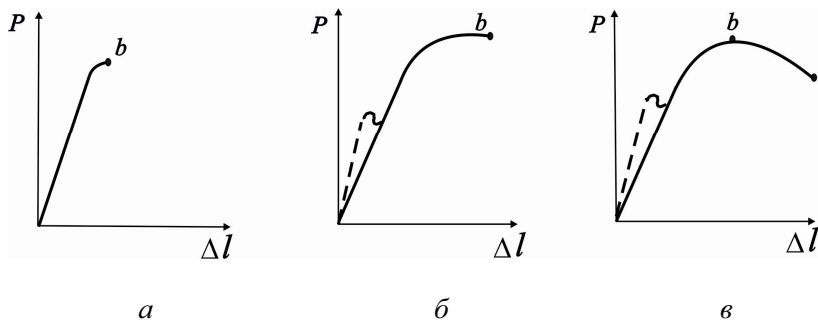


Рис. 1.3. Разновидности первичных диаграмм растяжения

Рассмотрим методику расчета характеристик свойств на примере диаграмм растяжения, подобных показанным на рис. 1.3, в. На рис. 1.4 отмечены точки, по ординатам которых рассчитывают отдельные механические свойства, характеризующие сопротивление образца деформации и разрушению.

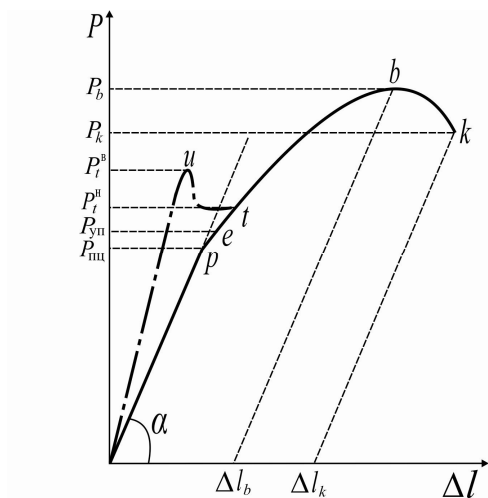


Рис. 1.4. Характерные точки на диаграмме растяжения, по которым рассчитываются механические свойства