ГОСТ 25.503—97

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Расчеты и испытания на прочность.

Методы механических испытаний металлов

МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ

Издание официальное

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
Минск

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Воронежской государственной лесотехнической академией (ВГЛТА), Всероссийским институтом легких сплавов (ВИЛС), Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций (ЦНИИСК им. Кучеренко), Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ) Госстандарта РФ

ВНЕСЕН Госстандартом России

2 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 12 от 21 ноября 1997 г.)

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации
Азербайджанская Республика	Азгосстандарт
Республика Армения	Армгосстандарт
Республика Белоруссия	Госстандарт Белоруссии
Республика Казахстан	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизская Республика	Киргизстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Таджикистан	Таджикгосстандарт
Туркменистан	Главная государственная инспекция Туркменистана
Республика Узбекистан	Узгосстандарт
Украина	Госстандарт Украины

3 Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 30 июня 1998 г. № 267 межгосударственный стандарт ГОСТ 25.503—97 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 июля 1999 г.

4 ВЗАМЕН ГОСТ 25.503—80

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Расчеты и испытания на прочность.

Методы механических испытаний металлов

МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ

Design calculation and strength testing. Methods of mechanical testing of metals.
Method of compression testing

Дата введения 1999—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы статических испытаний на сжатие при температуре 20^{+15}_{-10} °С для определения характеристик механических свойств черных и цветных металлов и сплавов.

Стандарт устанавливает методику испытания образцов на сжатие для построения кривой упрочнения, определения математической зависимости между напряжением течения σ_s и степенью деформации ε_l и оценки параметров степенного уравнения $\sigma_s = \sigma_{s1} \varepsilon_l^n$ (σ_{s1} — напряжение течения при $\varepsilon_l^n = 1$, n — показатель деформационного упрочнения).

Механические характеристики, кривая упрочнения и ее параметры, определяемые в настоящем стандарте, могут быть использованы в случаях:

- выбора металлов, сплавов и обоснования конструктивных решений;
- статистического приемочного контроля нормирования механических характеристик и оценки качества металла;
- разработки технологических процессов и проектирования изделий;
- расчета на прочность деталей машин.

Требования, установленные в разделах 4, 5 и 6, являются обязательными, остальные требования — рекомендуемыми.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 1497—84 (ИСО 6892—84) Металлы. Методы испытания на растяжение

ГОСТ 16504—81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ 18957—73* Тензометры для измерения линейных деформаций строительных материалов и конструкций. Общие технические условия

ГОСТ 28840—90 Машины для испытаний материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования

3 Определения

3.1 В настоящем стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **диаграмма испытаний (сжатия)**: График зависимости нагрузки от абсолютной деформации (укорочения) образца;

3.1.2 **кривая упрочнения**: График зависимости напряжения течения от логарифмической деформации;

3.1.3 **осевая сжимающая нагрузка**: Нагрузка, действующая на образец в данный момент испытания;

3.1.4 **условное номинальное напряжение σ**: Напряжение, определяемое отношением нагрузки к начальной площади поперечного сечения;

* На территории Российской Федерации отменен.

Издание официальное

3.1.5 **напряжение течения** σ_s: Напряжение, превышающее предел текучести, определяемое отношением нагрузки к действительной для данного момента испытаний площади поперечного сечения образца при равномерном деформировании;

3.1.6 **предел пропорциональности при сжатии** $\sigma^{c}_{пц}$: Напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между нагрузкой и абсолютным укорочением образца достигает такого значения, при котором тангенс угла наклона, образованного касательной к диаграмме $F - \Delta h$ в точке $F_{пц}$ с осью нагрузок, увеличивается на 50 % своего значения на линейном упругом участке;

3.1.7 **предел упругости при сжатии** $\sigma^{c}_{0,05}$: Напряжение, при котором относительная остаточная деформация (укорочение) образца (ε) достигает 0,05 % первоначальной расчетной высоты образца;

3.1.8 **предел текучести (физический) при сжатии** $\sigma^{c}_{т}$: Наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения сжимающей нагрузки;

3.1.9 **условный предел текучести при сжатии** $\sigma^{c}_{0,2}$: Напряжение, при котором относительная остаточная деформация (укорочение) образца достигает 0,2 % первоначальной расчетной высоты образца;

3.1.10 **предел прочности при сжатии** $\sigma^{c}_{в}$: Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению;

3.1.11 **показатель деформационного упрочнения** n: Степенной показатель аппроксимирующего кривые упрочнения уравнения $\sigma_s = \sigma_{s1} \varepsilon_l^n$, характеризующий способность металла к упрочнению при равномерной пластической деформации.

4 Форма и размеры образцов

4.1 Испытания проводят на образцах четырех типов: цилиндрических и призматических (квадратных и прямоугольных), с гладкими торцами I—III типов (рисунок 1) и торцевыми выточками IV типа (рисунок 2).

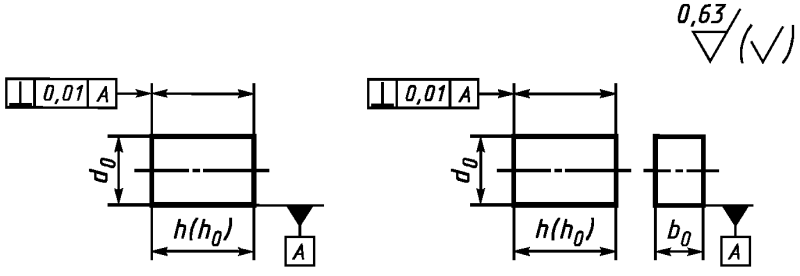


Рисунок 1 — Экспериментальные образцы I—III типов

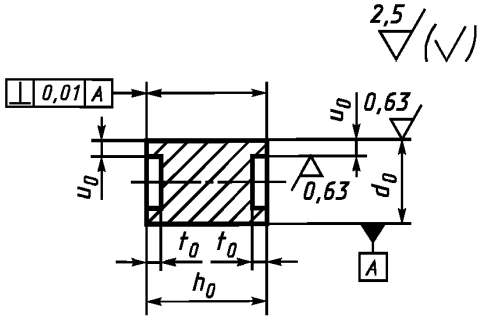


Рисунок 2 — Экспериментальные образцы IV типа

4.2 Тип и размер образца выбирают по таблице 1.

Таблица 1

Тип образца	Начальный диаметр цилиндрического образца d_0, мм	Начальная толщина призматического образца a_0, мм	Рабочая (начальная расчетная) высота образца $h(h_0)$*, мм	Определяемая характеристика	Примечание
I	20	20	100	Модуль упругости, предел пропорциональности	Рисунок 1
II	6—30	5—30	$h(h_0)=3d_0$	Предел пропорциональности, предел упругости	
III	6; 10; 15; 20; 25; 30	5; 10; 15; 20; 25; 30	Определяют по приложению А	Физический предел текучести, условный предел текучести. Построение кривой упрочнения до значений логарифмических деформаций $\varepsilon_l \le 2/3 \times \ln h_0/d_0^{**}$	
IV	6 10 15 20 25 30	—		Построение кривой упрочнения	Рисунок 2. Толщину и высоту буртика определяют по приложению А

* Высоту призматического образца устанавливают исходя из его площади $b \cdot a$, приравнивая ее к ближайшей площади через d_0.

** Для построения кривых упрочнения применяются только цилиндрические образцы.

Примечание — Ширину призматических образцов b определяют из соотношения $\frac{b}{a} = 1—1{,}5$.

4.3 Места вырезки заготовок для образцов и направление продольной оси образцов по отношению к заготовке должны быть приведены в нормативном документе на правила отбора проб, заготовок и образцов на металлопродукцию.

4.4 Образцы обрабатывают на металлорежущих станках. Глубина резания при последнем проходе не должна превышать 0,3 мм.

4.5 Термическую обработку металлов следует проводить до финишных операций механической обработки образцов.

4.6 Погрешность измерения диаметра и размеров поперечного сечения призматического образца до испытания не должна быть более, мм:

0,01 — для размеров до 10 мм;

0,05 — для размеров свыше 10 мм.

Измерение диаметра образцов до испытания проводят в двух взаимно перпендикулярных сечениях. Результаты измерений усредняют, вычисляют площадь поперечного сечения образца, округляя в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Площадь поперечного сечения образца, мм^2	Округление значения
Св. 20 до 100 включ. » 100 » 200 » » 200	0,1 0,5 1,0

4.7 Погрешность измерения высоты образца до испытания не должна быть более, мм:

0,01 — для образцов I и II типов;

0,01 — для образцов III типа, если испытания данного типа образца проводят при деформациях $\varepsilon_l \le 0{,}002$ и более 0,05 мм для $\varepsilon_l > 0{,}002$;

0,05 — для образцов IV типа.

5 Требования к оборудованию и аппаратуре

5.1 Испытания проводят на машинах сжатия всех систем и машинах растяжения (зона сжатия), отвечающих требованиям настоящего стандарта и ГОСТ 28840.

5.2 При проведении испытаний на сжатие испытательная машина должна быть оснащена:

- преобразователем силы и тензометром или преобразователями силы и перемещений с самопишущим прибором — при определении механических характеристик E^c, $\sigma^c_{пц}$, $\sigma^c_{0,05}$. При этом установка тензометра проводится на образец в его расчетной части, а самопишущий прибор предназначен для записи диаграммы $F(\Delta h)$;
- преобразователями силы и перемещений с самопишущим прибором — при определении механических характеристик $\sigma^c_т$, $\sigma^c_{0,2}$, $\sigma^c_в$ и построении кривой упрочнения на образцах III типа. При этом преобразователь перемещений устанавливают на активном захвате испытательной машины. Допускается измерять абсолютную деформацию (укорочение) образца Δh измерительными приборами и инструментом;
- преобразователем силы и измерительными приборами и инструментом — при построении кривой упрочнения на образцах IV типа.

5.2.1 Тензометры должны соответствовать требованиям ГОСТ 18957.

5.2.2 Суммарная погрешность измерения и регистрации перемещений с самопишущим прибором абсолютной деформации Δh не должна превышать ±2 % измеряемой величины.

5.2.3 Самопишущий прибор должен обеспечивать запись диаграммы $F(\Delta h)$ со следующими параметрами:

- высотой ординаты диаграммы, соответствующей наибольшему предельному значению диапазона измерения нагрузок, не менее 250 мм;
- масштабами записи по оси абсолютной деформации от 10:1 до 800:1.

5.2.4 Цена деления шкал измерительных приборов и инструмента при измерении конечной высоты образца $h_к$ не должна превышать, мм:

0,002 — при $\varepsilon \le 0{,}2$ %

0,050 — при $\varepsilon > 0{,}2$ %

0,002 — при $\varepsilon_l \le 0{,}002$

0,050 — при $\varepsilon_l > 0{,}002$

($\varepsilon = \dfrac{h_0 - h_к}{h_0}$; $\varepsilon_l = \ln\dfrac{h_0}{h_к}$ для образцов I—III типов; $\varepsilon_l = \ln\dfrac{A_0}{A_к}$ для образцов IV типа,где A_0 и $A_к$ — начальная и конечная площади поперечного сечения)

5.2.5 Погрешность измерения конечного диаметра образца и размеров поперечного сечения призматического образца не должна быть более, мм:

0,01 — для размеров до 10 мм;

0,05 — для размеров свыше 10 мм.

6 Подготовка и проведение испытаний

6.1 Число образцов для оценки среднего значения механических характеристик E^c, $\sigma^c_{пц}$, $\sigma^c_{0,05}$, $\sigma^c_т$, $\sigma^c_{0,2}$ и $\sigma^c_в$ должно быть не менее пяти*, если в нормативном документе на поставку материалов не оговорено другое количество.

6.2 Число образцов для построения кривой упрочнения

6.2.1 Для построения кривой упрочнения на образцах III, IV типов с последующей обработкой результатов испытаний методами корреляционного анализа число образцов выбирают в зависимости от предполагаемого вида кривой упрочнения и ее участков (см. приложение Б). Для участка I кривой упрочнения (см. рисунок Б.1 а) испытывают не менее шести образцов, для участка II — не менее

* Если разница в определяемых характеристиках не превышает 5 %, можно ограничиться тремя образцами.

пяти образцов, для участка III — в зависимости от значения деформации, соответствующей данному участку (не менее одного образца на диапазон степеней деформации ε_i = 0,10). Для кривых упрочнения, приведенных на рисунках Б.1б—Б.1г и Б.1е—Б.1к, число образцов должно быть не менее 15, а для кривых, представленных на рисунке Б.1д, — не менее восьми образцов для каждого из участков кривой, отделенных друг от друга максимумами и минимумами.

6.2.2 При ограниченном объеме испытаний для построения кривой упрочнения на образцах III типа с последующим регрессионным анализом результатов испытания число образцов должно быть не менее пяти.

6.3 Испытания образцов на сжатие проводят в условиях, обеспечивающих минимальный эксцентриситет приложения нагрузки и безопасность проведения экспериментов. Рекомендуется использовать приспособление, приведенное в приложении В.

6.4 Твердость деформирующих плит должна превышать твердость упрочненных во время испытания образцов не менее чем на 5 $HRC_э$.

Толщину деформирующих плит устанавливают в зависимости от создаваемых усилий в образце и принимают равной 20—50 мм.

6.5 Необходимо контролировать соблюдение равномерности деформирования при испытании образцов на сжатие (отсутствие бочкообразования и вогнутости).

6.5.1 При определении модуля упругости E^c, предела пропорциональности $\sigma^c_{пц}$ и упругости $\sigma^c_{0,05}$ контроль осуществляют с помощью приборов, устанавливаемых на противоположных сторонах призматического и цилиндрического образцов, при этом нормируемая разность показаний двух приборов не должна превышать 10 (15) %.

6.5.2 При определении предела текучести $\sigma^c_т$, предела прочности $\sigma^c_в$ и при построении кривой упрочнения контроль осуществляют по равенствам для цилиндрических и призматических образцов:

$$\left(\frac{h_0}{h_к}\right)^{0,9} \le \frac{A_к}{A_0}; \left(\frac{h_0}{h_к}\right)^{0,9} \le \frac{A_{к.п}}{A_{0п}},$$

где h_0 — начальная расчетная высота цилиндрического и призматического образцов, по которой определяется укорочение (база тензометра), мм;

$h_к$ — конечная расчетная высота цилиндрического и призматического образцов после испытания до заданной деформации или при разрушении, мм;

A_0 — начальная площадь поперечного сечения цилиндрического образца, мм^2 ($A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$);

$A_к$ — конечная площадь поперечного сечения цилиндрического образца после испытания до заданной деформации или при разрушении, мм^2 ($A_к = \frac{\pi d_к^2}{4}$);

$A_{к.п}$ — конечная площадь поперечного сечения призматического образца после испытания до заданной деформации или при разрушении, мм^2 ($A_{к.п} = a_к, b_к$, где $a_к$ — конечная толщина призматического образца, $b_к$ — конечная ширина призматического образца, мм);

$A_{0п}$ — начальная площадь поперечного сечения призматического образца, мм^2 ($A_{0п} = a\,b$).

6.6 При испытании образцов I, II типов торцы образцов обезжиривают. Смазывание торцов смазочным материалом недопустимо.

6.7 При испытании образцов III типа допускается применение смазочного материала, а при испытании образцов IV типа применение смазки является обязательным.

6.7.1 При испытании образцов III типа в качестве смазочного материала применяют машинное масло с графитом, смазочно-охлаждающую жидкость марки В-32К и Укринол 5/5.

6.7.2 При испытании образцов IV типа в качестве смазочного материала применяют стеарин, парафин, парафино-стеариновую смесь или воск. На образцы смазочный материал наносят в жидком состоянии. Толщина смазочного материала должна соответствовать высоте буртиков.

6.7.3 Допускается применение других смазочных материалов, обеспечивающих уменьшение контактного трения между образцами и деформирующей плитой.

6.8 При испытании образцов на сжатие до предела текучести скорость относительной деформации выбирают от 10^{-3} с$^{-1}$ до 10^{-2} с$^{-1}$, за пределом текучести — не более 10^{-1} с$^{-1}$, а для построения кривых упрочнения устанавливают от 10^{-3} с$^{-1}$ до 10^{-1} с$^{-1}$. Скорость относительной

деформации рекомендуется определять с учетом упругой податливости системы «испытательная машина — образец» (см. ГОСТ 1497). Если выбранная скорость относительной деформации в области текучести не может быть достигнута непосредственно регулированием испытательной машины, то ее устанавливают от 3 до 30 МПа/с [(от 0,3 до 3 кгс/мм^2·с)] регулированием скорости нагружения до начала области текучести образца.

6.9 Определение механических характеристик

6.9.1 Механические характеристики E^c, $\sigma^c_{пц}$, $\sigma^c_{0,05}$, $\sigma^c_т$ определяют:

- с помощью тензометров с ручным и автоматизированным съемом информации (аналитический и расчетный способ обработки);
- по записанной испытательной машиной автодиаграмме в координатах «усилие — абсолютная деформация (P — Δ h)» с учетом масштаба записи.

Запись диаграмм выполняется при ступенчатом нагружении с циклами разгрузки и непрерывном приложении возрастающего усилия в диапазонах указанных скоростей нагружения и деформирования. Масштаб записи:

- по оси деформации — не менее 100:1;
- по оси нагрузки 1 мм диаграммы должен соответствовать не более 10 МПа (1,0 кгс/мм^2).

Поле записи усилий и деформаций должно быть, как правило, не менее 250 × 350 мм.

6.9.2 Результаты испытаний каждого образца записывают в протокол испытаний (приложение Г), а результаты испытаний партии образцов — в сводный протокол испытаний (приложение Д).

6.9.3 Модуль упругости при сжатии определяют на образцах I типа. Порядок проведения испытаний образца и методика построения диаграммы испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра приведены ниже.

Образец нагружают до напряжения $\sigma_0 = 0{,}10\ \sigma^{с.ож}_{пц}$ (напряжение $\sigma^{с.ож}_{пц}$ соответствует ожидаемому значению предела пропорциональности).

При напряжении σ_0 на образец устанавливают тензометры и нагружают ступенчато-возрастающим напряжением до (0,70—0,80) $\sigma^{с.ож}_{пц}$. При этом перепад между соседними ступенями напряжения $\Delta\sigma$ составляет 0,10 $\sigma^{с.ож}_{пц}$.

По результатам испытаний строят диаграмму (рисунок 3). Модуль упругости при сжатии E^c, МПа (кгс/мм^2), рассчитывают по формуле

$$E^c = \frac{\Delta F h_0}{\Delta h_{ср} A_0}, \qquad (1)$$

где ΔF — ступень нагрузки, Н (кгс);

$\Delta h_{ср}$ — средняя абсолютная деформация (укорочение) образца при нагружении на ΔF, мм.

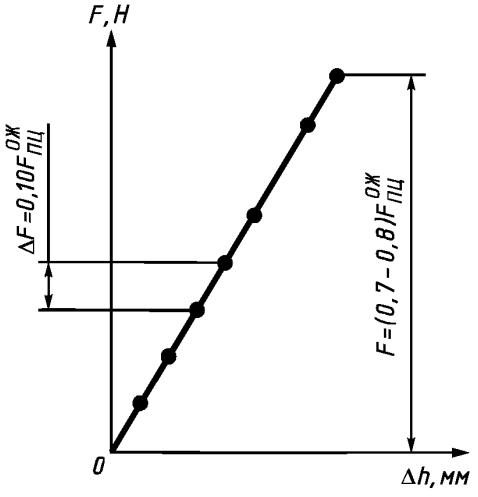


Рисунок 3 — Диаграмма испытаний для определения модуля упругости при сжатии

Для определения модуля упругости при сжатии по диаграмме $F(\Delta h)$, записанной на самопишущем приборе (см. 4.2), образец нагружают непрерывно до $\sigma = (0{,}7—0{,}8)\ \sigma_{пц}^{с.ож}$. Напряжение $\sigma_{пц}^{с.ож}$ соответствует ожидаемому значению предела пропорциональности.

По диаграмме, используя формулу (1), определяем модуль упругости при сжатии $E^{с}$.

6.9.4 Предел пропорциональности при сжатии определяют на образцах I и II типов. Порядок испытаний образца и методика построения диаграммы по показаниям преобразователя силы и тензометра приведены ниже.

Образец нагружают до напряжения $\sigma_0 = 0{,}10\ \sigma_{пц}^{с.ож}$ (напряжение $\sigma_{пц}^{с.ож}$ соответствует ожидаемому значению предела пропорциональности).

При напряжении σ_0 на образец устанавливают тензометр и нагружают ступенчато-возрастающим напряжением до $(0{,}70—0{,}80)\ \sigma_{пц}^{с.ож}$, при этом перепад между соседними ступенями напряжения $\Delta\sigma$ составляет $(0{,}10—0{,}15)\ \sigma_{пц}^{с.ож}$. Далее образец нагружают ступенями напряжения, равными $0{,}02\ \sigma_{пц}^{с.ож}$. Когда значение абсолютной деформации (укорочение) образца Δh на ступени напряжения, равной $0{,}02\ \sigma_{пц}^{с.ож}$, превысит среднее значение абсолютной деформации (укорочение) образца Δh (при той же ступени напряжения) на начальном линейном упругом участке в 2, 3 раза, испытания прекращают.

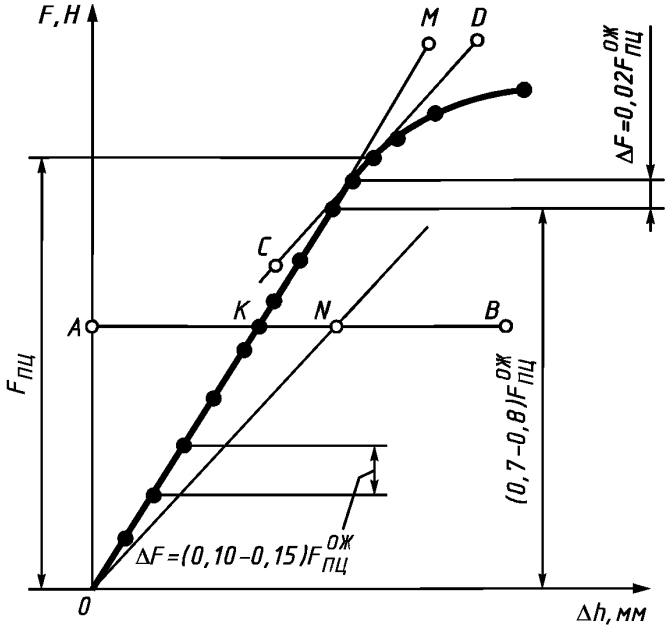


Рисунок 4 — Диаграмма испытаний для определения предела пропорциональности при сжатии

По результатам испытаний строят диаграмму и определяют предел пропорциональности при сжатии (рисунок 4). При построении диаграммы проводят прямую *OM*, совпадающую с начальным прямолинейным участком. Через точку *O* проводят ось ординат *OF*, а затем — прямую *AB* на произвольном уровне, параллельную оси абсцисс. На этой прямой откладывают отрезок *KN*, равный половине отрезка *AK*. Через точку *N* и начало координат проводят прямую *ON* и параллельно ей — касательную *CD* к кривой. Точка касания определяет нагрузку $F_{пц}$, соответствующую пределу пропорциональности при сжатии $\sigma_{пц}^{с}$, МПа (кгс/мм^2), рассчитанному по формуле

$$\sigma_{пц}^{с} = \frac{F_{пц}}{A_0}. \qquad (2)$$

Для определения предела пропорциональности при сжатии по диаграмме F (Δh), записанной на самопишущем приборе (см. 4.2), образец нагружают непрерывно до напряжения, превышающего ожидаемое значение предела пропорциональности $\sigma^{\text{с.ож}}_{\text{пц}}$. По диаграмме, используя формулу (2) и проведя приведенные выше построения, определяют предел пропорциональности при сжатии $\sigma^{\text{с}}_{\text{пц}}$.

6.9.5 Предел упругости при сжатии $\sigma^{\text{с}}_{0,05}$ определяют на образцах II типа. Порядок испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра приведен ниже.

Образец нагружают до напряжения $0,10\,\sigma^{\text{с.ож}}_{0,05}$ (напряжение соответствует ожидаемому значению предела упругости при сжатии).

При напряжении σ_0 на образец устанавливают тензометр и нагружают ступенчато-возрастающим напряжением до $(0,70—0,80)\,\sigma^{\text{с.ож}}_{0,05}$. При этом перепад между соседними ступенями напряжения $\Delta\sigma$ составляет $(0,10—0,15)\,\sigma^{\text{с.ож}}_{0,05}$. Далее с напряжения $(0,70—0,80)\,\sigma^{\text{с.ож}}_{0,05}$ образец нагружают ступенями напряжения, равными $0,05\,\sigma^{\text{с.ож}}_{0,05}$. Испытания прекращают, когда остаточное укорочение образца превысит заданное значение допуска.

По результатам испытаний строят диаграмму и определяют предел упругости при сжатии (рисунок 5).

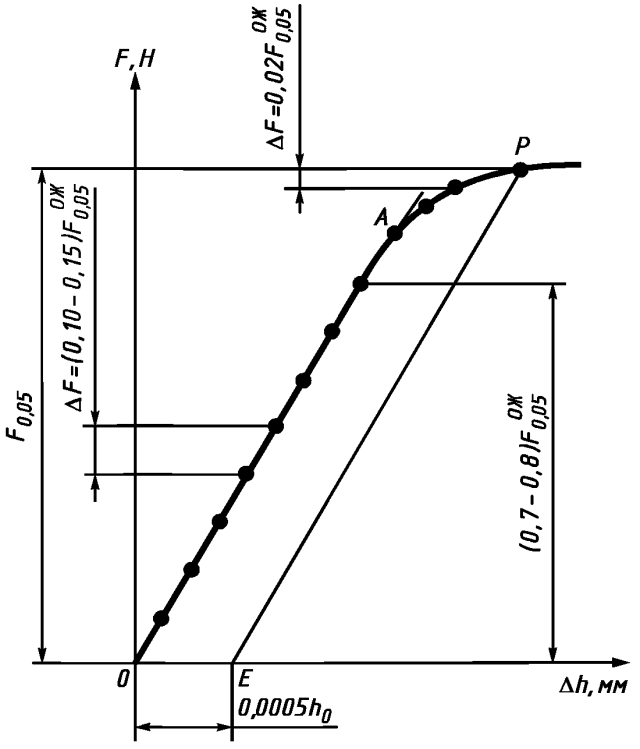


Рисунок 5 — Диаграмма испытаний для определения предела упругости при сжатии

Для определения нагрузки $F_{0,05}$ рассчитывают абсолютную деформацию (укорочение образца) Δh, исходя из базы тензометра. Найденное значение увеличивают пропорционально масштабу диаграммы по оси абсолютной деформации и отрезок полученной длины OE откладывают по оси абсцисс вправо от точки O. Из точки E проводят прямую EP, параллельную прямой OA. Точка пересечения P с диаграммой определяет высоту ординаты, т.е. нагрузку $F_{0,05}$, соответствующую пределу упругости при сжатии $\sigma_{0,05}$, МПа (кгс/мм^2), рассчитанному по формуле

$$\sigma^{\text{с}}_{0,05} = \frac{F_{0,05}}{A_0}. \qquad (3)$$

Для определения предела упругости при сжатии $\sigma^{c}_{0,05}$ по диаграмме F (Δ h), записанной на самопишущем приборе (см. 4.2), образец нагружают непрерывно до напряжения, превышающего ожидаемое значение предела упругости $\sigma^{c.ож}_{0,05}$. По диаграмме, используя формулу (3) и рисунок 5, определяют предел упругости при сжатии $\sigma^{c}_{0,05}$.

6.9.6 Предел текучести (физический) при сжатии $\sigma^{c}_{т}$ определяют на образцах III типа.

Образец непрерывно нагружают до напряжения, превышающего ожидаемое значение $\sigma^{c.ож}_{т}$, и записывают диаграмму на самопишущем приборе (см. 4.2).

Пример определения нагрузки $F_т$, соответствующей пределу текучести (физическому), приведен на рисунке 6.

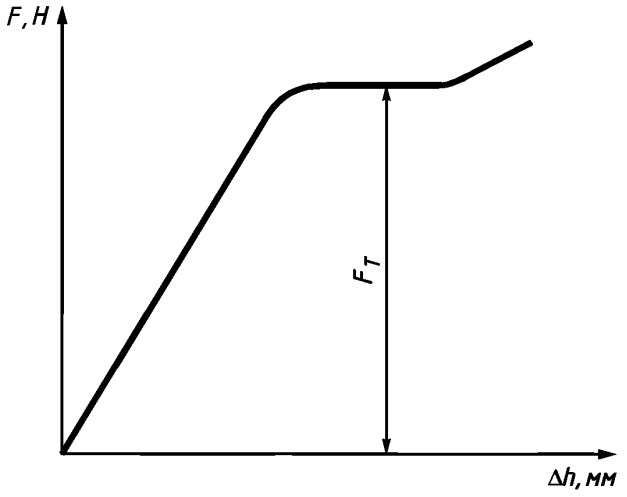


Рисунок 6 — Определение нагрузки $F_т$, соответствующей пределу текучести при сжатии

Предел текучести (физический) $\sigma^{c}_{т}$, МПа (кгс/мм^2), рассчитывают по формуле

$$\sigma^{c}_{т} = \frac{F}{A_0}. \qquad (4)$$

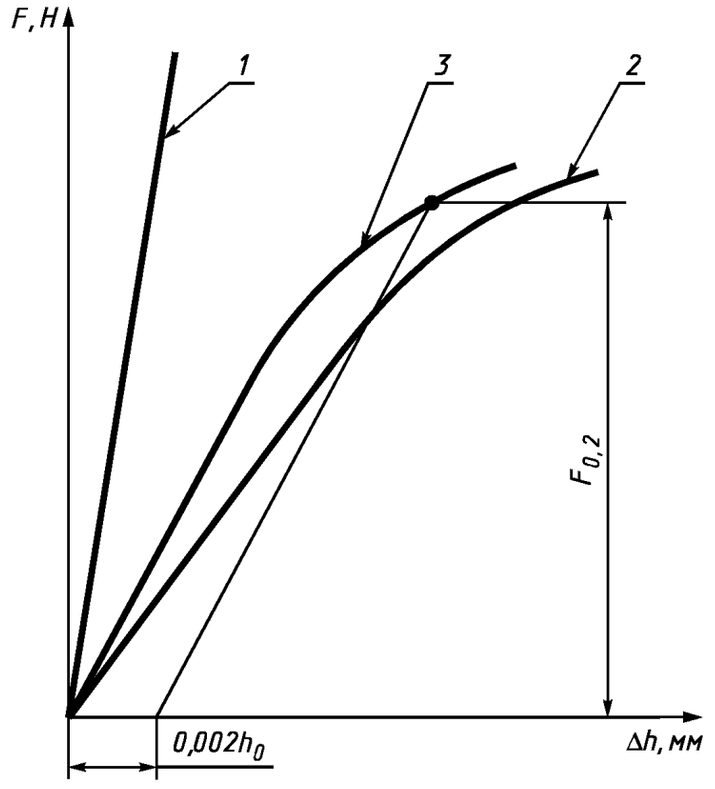
6.9.7 Условный предел текучести при сжатии $\sigma^{c}_{0,2}$ определяют на образцах III типа.

Образец непрерывно нагружают до напряжения, превышающего ожидаемое значение условного предела текучести $\sigma^{c.ож}_{0,2}$, и записывают диаграмму на самопишущем приборе (см. 4.2).

Масштаб по оси деформации не менее 100:1, а по оси нагрузки — 1 мм диаграммы должен соответствовать не более 10 МПа (1,0 кгс/мм^2). Допускается определение $\sigma^{c}_{0,2}$ по диаграммам, записанным с масштабом по оси удлинений 50:1 и 10:1, если исходная высота образца больше или равна 25 и 50 мм соответственно. Полученную диаграмму перестраивают с учетом жесткости испытательной машины. По диаграмме (рисунок 7) определяют нагрузку, соответствующую условному пределу текучести (физическому) при сжатии $\sigma^{c}_{0,2}$, рассчитанному по формуле

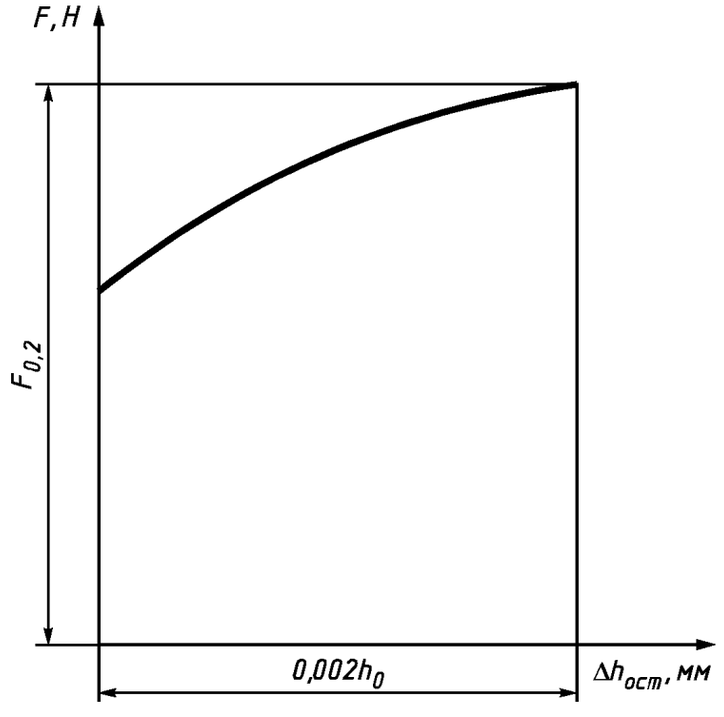
$$\sigma^{c}_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}. \qquad (5)$$

По результатам испытаний строят диаграмму F (Δ h) (рисунок 8) и определяют нагрузку, соответствующую условному пределу текучести при сжатии, который рассчитывают по формуле (5).



1 — характеристика жесткости испытательной машины; *2* — диаграмма $F(\Delta h)$, записанная на самопишущем приборе; *3* — диаграмма $F(\Delta h)$, записанная с учетом жесткости испытательной машины

Рисунок 7 — Диаграмма испытаний для определения условного предела текучести при сжатии



$\Delta h_{ост}$ — абсолютная остаточная деформация (укорочение) образца

Рисунок 8 — Диаграмма испытаний для определения условного предела текучести при сжатии

6.9.8 Предел прочности при сжатии $\sigma_{в}^{с}$ определяют на образцах III типа.

Образец непрерывно нагружают до разрушения. Наибольшую нагрузку, предшествующую разрушению образца, принимают за нагрузку F_{max}, соответствующую пределу прочности при сжатии $\sigma_{в}$, МПа (кгс/мм^2), рассчитанному по формуле

$$\sigma_{в} = \frac{F_{max}}{A_0}. \qquad (6)$$

6.10 Методика испытаний для построения кривой упрочнения

6.10.1 Для построения кривой упрочнения испытывают серию одинаковых цилиндрических образцов III и IV типов (см. раздел 3) на нескольких уровнях заданных нагрузок.

6.10.2 Кривую упрочнения строят в координатах: ордината — напряжение течения σ_s, абсцисса — логарифмическая деформация ε_l (рисунок 9) или в двойных логарифмических координатах $\lg \sigma_s - \lg \sigma_l$ (рисунок 10).

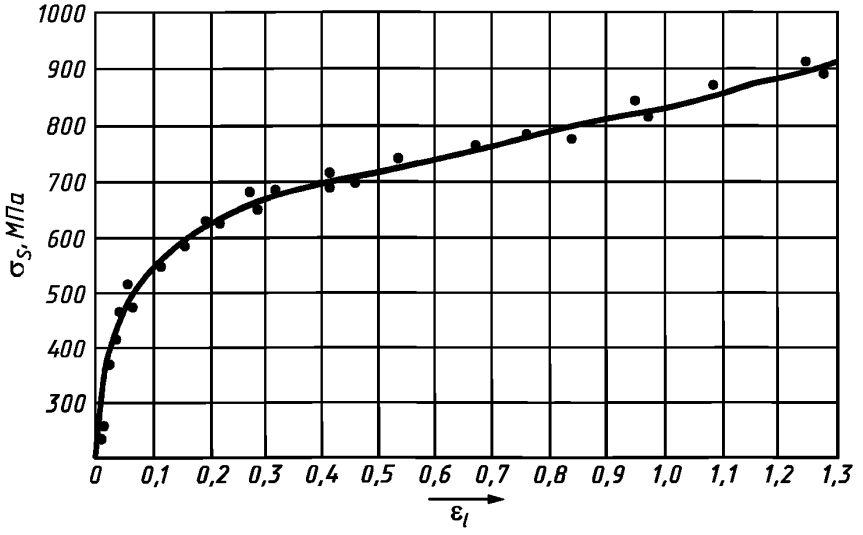


Рисунок 9 — Экспериментальная кривая упрочнения в координатах $\sigma_s - \varepsilon_l$

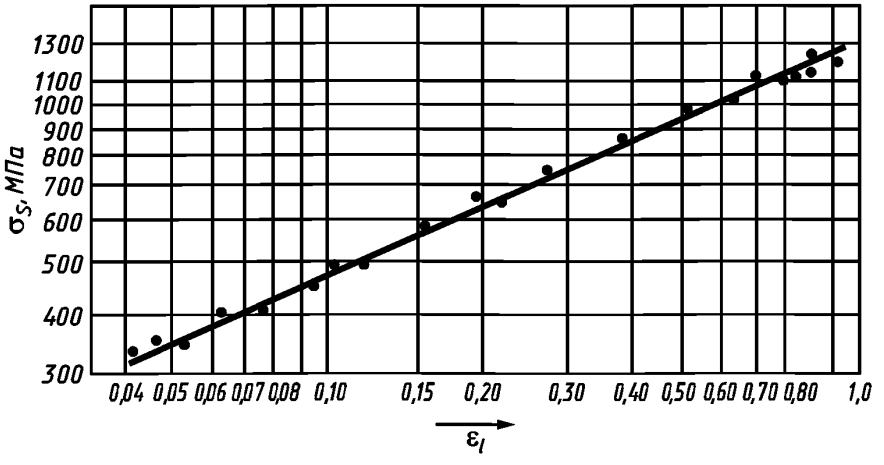


Рисунок 10 — Экспериментальная кривая упрочнения в логарифмических координатах

Напряжение течения σ_s, МПа (кгс/мм^2), рассчитывают по формуле

$$\sigma_s = \frac{F}{A_к}, \tag{7}$$

где F — осевая сжимающая нагрузка, Н (кгс).

Напряжение течения σ_{s1}, МПа (кгс/мм^2), определяют графически по экспериментальной кривой упрочнения при логарифмической деформации (укорочении) образца ε_l, равной 1.

Логарифмическую деформацию (укорочение) ε_l, рассчитывают по формулам:

для образцов III типа

$$\varepsilon_l = \ln \frac{h_0}{h_к}; \tag{8}$$

для образцов IV типа

$$\varepsilon_l = \ln \frac{A_к}{A_0}. \tag{9}$$

Результаты испытаний каждого образца записывают в протокол испытаний (приложение Г), а результаты испытаний партии образцов — в сводный протокол (приложение Д).

Примечание — Допускается построение кривой упрочнения по относительной деформации (укорочение) ε ($\varepsilon = \frac{h_0 - h_к}{h_0} \cdot 100$)

6.10.3 Порядок испытаний образца приведен ниже.

Нагружают образец до заданной нагрузки. Разгружают образец до нулевой нагрузки и измеряют конечный диаметр образца $d_к$ в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а для образцов III типа также конечную высоту образца $h_к$. Конечный диаметр $d_к$ для образцов IV типа измеряют посредине осаженного образца (на расстоянии 0,5 от торцов).

Для определения $d_к$ образцов III типа измеряют диаметры осаженных образцов на обоих торцах в двух взаимно перпендикулярных направлениях и устанавливают среднее арифметическое значение конечного диаметра торцов $d_т$, а посредине образца измеряют максимальное значение конечного диаметра осаженной заготовки $d_{max} \cdot d_к$, мм, рассчитывают по формуле

$$d_к = \frac{d_т + d_{max}}{2}. \tag{10}$$

Результаты измерений $d_к$ и $h_к$ усредняют. Конечную площадь поперечного сечения образца $A_к$ округляют, как приведено в таблице 2.

Для образцов IV типа одноразовое испытание проводят до момента исчезновения буртиков.

С целью достижения более высоких степеней равномерной деформации применяют двухступенчатую осадку, при этом значение логарифмической деформации между осадками должно быть не менее 0,45.

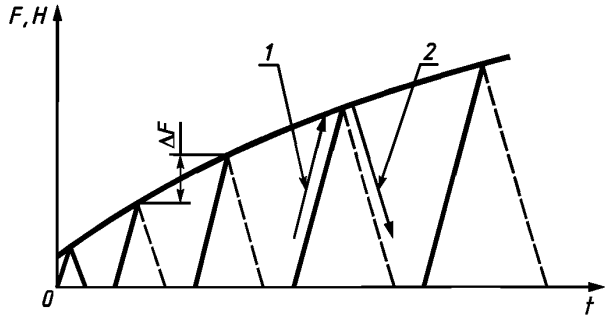
При двухступенчатом испытании проводят после первого осаживания перетачивание образцов для образования цилиндрической выточки (IV тип). Размеры буртиков образца выбирают по таблице 1. Отношение высоты переточенного образца к диаметру принимают по приложению А.

Для образцов III типа допускается применять промежуточное перетачивание для двухступенчатого осаживания, при этом логарифмическая степень деформации между ступенями должна быть не менее 0,45.

6.10.4 Напряжение течения σ_s и соответствующие ему значения логарифмических деформаций ε_l для заданных уровней нагрузок определяют по 6.10.2.

6.10.5 Строят кривую упрочнения (см. рисунки 9, 10). Методика обработки экспериментальных данных изложена в приложении Е.

6.10.6 В обоснованных случаях (при ограниченном количестве образцов или при использовании результатов для расчетов процессов, связанных со ступенчатым нагружением) образцы III типа допускается испытывать при ступенчатом увеличении нагрузки (рисунок 11). При этом результаты испытаний для построения кривой упрочнения обрабатывают методом регрессионного анализа (см. приложение Е).



1 — нагрузка; *2* — разгрузка

Рисунок 11 — Проведение испытаний при ступенчатом увеличении нагрузки

6.10.7 Испытание образцов считается недействительным:

- при отрыве буртиков у образцов IV типа во время нагружения;
- при разрушении образца по дефектам металлургического производства (расслой, газовые раковины, плены и т.д.).

Количество образцов для испытаний взамен признанных недействительными должно быть одинаковым.

6.11 При проведении испытаний образцов всех типов соблюдают все правила технической безопасности, предусмотренные при работе на данном оборудовании. Испытания образцов IV типа выполняют обязательно с использованием приспособления (см. приложение В).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Определение размеров образцов III, IV типов

Образцы III типа для построения кривой упрочнения изготовляют высотой h_0, превышающей диаметр d_0. Для образцов IV типа допускается $\frac{h_0}{d_0} = 1{,}0$. Первоначальное отношение $\frac{h_0}{d_0}$ должно быть максимально возможно при условии обеспечения продольной устойчивости. Высоту образца h_0 определяют по формуле

$$h_0 = \frac{2{,}24\, d_0 \sqrt{n}}{\nu}, \qquad (A.1)$$

где n — показатель деформационного упрочнения;

ν — коэффициент приведения высоты ($\nu = 0{,}5$ — для образцов III типа; $\nu = 0{,}76$ — для образцов IV типа).

Высоту образца h_0 после определения по формуле (А.1) округляют до целого числа. Отношение $\frac{h_0}{d_0}$ для переточенных образцов принимают равным 1,0.

Значения показателей n для широко применяемых металлов и сплавов приведены в таблице А.1. Толщину буртика u_0 (раздел 4) принимают равной 0,5—0,8 мм для образцов из пластичных и средней прочности материалов и 1,0—1,2 мм — для хрупких материалов. Бóльшие значения u_0 выбирают для образцов, изготовленных из материалов с высокими прочностными свойствами, и при изготовлении образцов для повторной осадки.

Таблица А.1 — Значение показателя деформационного упрочнения при сжатии пруткового материала

Материал	Состояние материала	Показатель деформационного упрочнения n
1 ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ МЕТАЛЛЫ		
Железо	Отжиг обычный	0,27—0,28
	Отжиг в вакууме	0,23
Алюминий	Отжиг	0,17—0,22
Медь	Отжиг	0,47—0,49
Никель	Отжиг	0,36
Серебро	Отжиг	0,435
Цинк	Отжиг	0,218
Молибден	Отжиг рекристаллизационный	0,04
Магний	Прессование	0,9
Олово	—	0,139
Уран	—	0,3
2 УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ		
С содержанием углерода 0,05—0,10 %	Горячая прокатка	0,25—0,21
С содержанием углерода 0,10—0,15 %	Отжиг	0,25—0,21
	Неполный отжиг	0,21
	Нормализация	0,23
С содержанием углерода 0,20—0,35 %	Отжиг	0,23
	Неполный отжиг	0,19—0,185
	Нормализация	0,22—0,175
	Горячая прокатка	0,22—0,18

Продолжение таблицы А.1

Материал	Состояние материала	Показатель деформационного упрочнения n
С содержанием углерода 0,40—0,60 %	Отжиг	0,20—0,17
	Неполный отжиг	0,185—0,163
	Нормализация	0,195—0,18
	Горячая прокатка	0,17—0,16
С содержанием углерода 0,70—1,0 %	Отжиг	0,19—0,18
	Неполный отжиг	0,177—0,163
	Горячая прокатка	0,153—0,15
С содержанием углерода 1,1—1,3 %	Неполный отжиг	0,17—0,15
3 ЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ		
15Х	Горячая прокатка	0,18—0,20
20Х	Отжиг	0,204
	Нормализация	0,191
	Закалка+отпуск при t = 650 °С	0,113
	Закалка+отпуск при t = 500 °С	0,112
35Х	Горячая прокатка	0,166
40Х	Отжиг	0,153
	Нормализация	0,128
	Закалка+отпуск при t = 600 °С	0,134
	Закалка+отпуск при t = 400 °С	0,104
45Х	Горячая прокатка	0,148
20Г	Отжиг	0,225
	Нормализация	0,160
10Г2	Отжиг	0,19
65Г	Горячая прокатка	0,156
15ХГ	Отжиг	0,16—0,17
	Горячая прокатка	0,14—0,15
40ХН	Отжиг	0,144
35ХС	Отжиг	0,175
	Нормализация	0,145
12ХН3А	Отжиг	0,193
	Нормализация	0,174
	Закалка+отпуск при t = 600 °С	0,1
	Горячая прокатка	0,17
4ХНМА	Отжиг	0,134
	Нормализация	0,123
	Закалка+отпуск при t = 600 °С	0,1
	Горячая прокатка	0,157
30ХГСА	Отжиг	0,17
	Нормализация	0,19
18ХГТ	Отжиг	0,174
17ГСНД	Нормализация+старение при t = 500 °С	0,22
17ГСАЮ	Нормализация	0,27

Окончание таблицы А.1

Материал	Состояние материала	Показатель деформационного упрочнения n
ХВГ	Отжиг	0,23
5ХНВ		0,146
7Х3		0,160
Х12Ф		0,135
3Х3В8Ф		0,165
Р18		0,135—0,147
4 ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ		
20Х13	Отжиг	0,21
12Х18Н9	Нормализация	0,625
12Х18Н9Т	Закалка в масле	0,370
	Закалка в воде	0,390—0,395
20Х13Н18	Закалка в масле	0,328
10Х17Н13М2Т	Закалка в воде	0,365
Аустенитные стали типа 09Х17Н7Ю, 08Н18Н10, 10Х18Н12, 10Х23Н18		
17—7	Закалка	0,63—0,71
18—8		0,45—0,60
18—10		0,37—0,53
23—20		0,33—0,34
5 АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ		
АМг2М	Отжиг	0,19
АМг6	Отжиг	0,26
Д1	Отжиг	0,16—0,17
	Закалка+естественное старение	0,26
	Старение при t = 180 °С	0,08
	Старение при t = 200 °С	0,10
1915	Закалка	0,27
	Зонное старение	0,235
	Старение на максимальную прочность (стабильное состояние)	0,11
	Прессование	0,134—0,146
АК4-1	Отжиг	0,114
	Закалка+старение	0,15
АВ	Прессование	0,14—0,16
Д20	Прессование	0,16—0,21
Д16	Прессование	0,162—0,190
6 МЕДНЫЕ СПЛАВЫ		
Латунь Л63	Отжиг	0,406
Латунь ЛС59-1В	Отжиг	0,277
Латунь CuZn15 (15 % Zn)	—	0,41
Латунь CuZn30 (30 % Zn)	—	0,51
Бронза ОФ7-0,25	Отжиг	0,45—0,46
Бронза CuAl41 (41 % Al)	—	0,565
7 ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ		
ОТ4	Отжиг в вакууме	0,128
ВТ16	Отжиг в вакууме	0,034

Высоту буртика t_0, мм, (раздел 4) определяют по формуле[1)]

$$t_0 = 2{,}3\ u_0\ \mu^{1{,}4}, \qquad (A.2)$$

где μ — коэффициент Пуассона, значения которого для ряда металлов приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 — Значения коэффициентов Пуассона μ металлов и сплавов

Наименование металлов и сплавов	μ
Углеродистые стали с повышенным содержанием марганца (15Г, 20Г, 30Г, 40Г, 50Г, 60Г, 20Г2, 35Г2)	0,22
Иридий	0,26
Стали 20Х13, 30ХНМ	0,27
Аустенитные стали	0,27—0,29
Железо, низкоуглеродистые стали и высоколегированные стали марок 30Х13, 20Н5, 30ХН3	0,28
Цинк, вольфрам, гафний, стали с большим содержанием углерода, сталь 40ХН3	0,29
Хром, молибден	0,31
Кобальт	0,32
Алюминий, дюралюминий, никель, цирконий, олово	0,33
Титан, магниевые сплавы	0,34
Тантал	0,35
Ванадий	0,36
Серебро	0,37
Медь	0,37
Ниобий, палладий, платина	0,39
Золото	0,42
Свинец	0,44
Индий	0,46

Для образцов с u_0 = 0,5 — 1,2 мм из металлов и сплавов с μ = 0,22—0,46 расчетные значения t_0 приведены на рисунке А.1 и в таблице А.3.

Таблица А.3 — Значение высоты буртика t_0

μ	$t_0 = 2{,}3\ u_0\ \mu^{1{,}4}$, мм				
	u_0 = 0,5	u_0 = 0,6	u_0 = 0,8	u_0 = 1	u_0 = 1,2
0,22	0,138	0,166	0,221	0,276	0,331
0,23	0,147	0,176	0,235	0,294	0,353
0,24	0,156	0,187	0,250	0,312	0,374
0,25	0,165	0,198	0,264	0,330	0,396
0,26	0,174	0,209	0,279	0,349	0,419
0,27	0,184	0,221	0,294	0,368	0,441
0,28	0,194	0,232	0,310	0,387	0,464
0,29	0,203	0,244	0,325	0,407	0,488
0,30	0,213	0,256	0,341	0,426	0,512
0,31	0,223	0,268	0,357	0,446	0,536
0,32	0,233	0,280	0,373	0,467	0,560
0,33	0,244	0,292	0,390	0,487	0,585
0,34	0,254	0,305	0,406	0,508	0,610
0,35	0,264	0,317	0,423	0,529	0,635
0,36	0,275	0,330	0,440	0,550	0,660
0,37	0,286	0,343	0,457	0,572	0,686
0,38	0,297	0,356	0,475	0,594	0,712

[1)] В случае применения повторной осадки образцы изготовляют с высотой буртиков на 0,02—0,03 мм меньше расчетной.

Окончание таблицы А.3

μ	$t_0 = 2{,}3\ u_0\ \mu^{1{,}4}$, мм				
	$u_0 = 0{,}5$	$u_0 = 0{,}6$	$u_0 = 0{,}8$	$u_0 = 1$	$u_0 = 1{,}2$
0,39	0,308	0,369	0,492	0,615	0,739
0,40	0,319	0,383	0,510	0,638	0,765
0,41	0,330	0,396	0,528	0,660	0,792
0,42	0,341	0,410	0,546	0,683	0,819
0,43	0,353	0,423	0,565	0,706	0,847
0,44	0,364	0,437	0,583	0,729	0,874
0,45	0,376	0,451	0,602	0,752	0,902
0,46	0,388	0,465	0,620	0,776	0,931

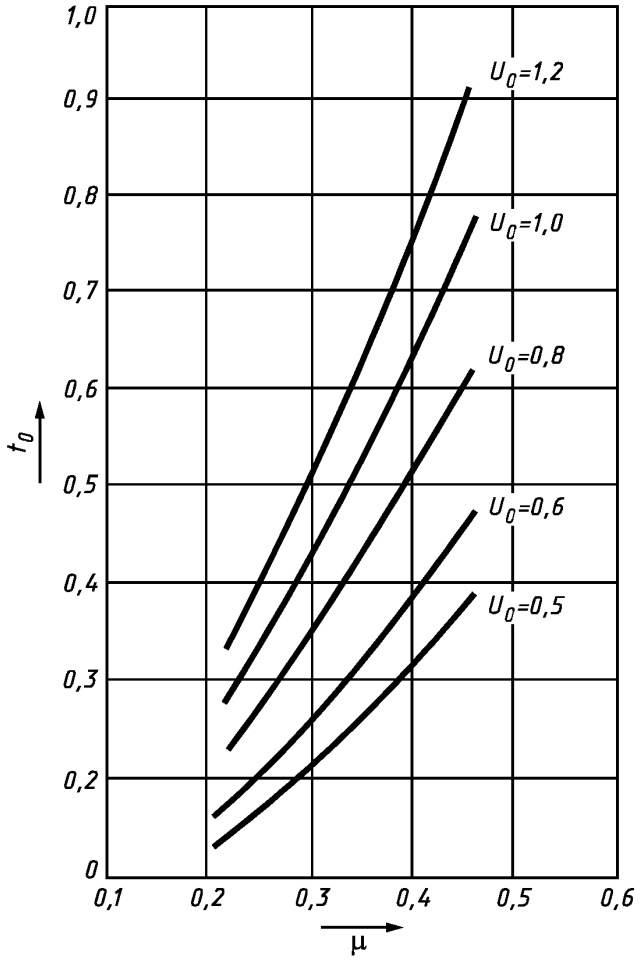


Рисунок А.1 — Зависимость оптимального значения высоты буртиков от коэффициента Пуассона

Приблизительно t_0 можно рассчитать по формуле

$$t_0 = 2{,}3\ u_0\ (0{,}909\ \mu - 0{,}088). \qquad (А.3)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Виды кривых упрочнения

Имеется восемь видов кривых упрочнения, построенных по результатам испытания на сжатие (рисунок Б.1). Ход кривых упрочнения $\sigma_s(\varepsilon_l)$ обусловлен главным образом природой металлов и сплавов (рисунок Б.1 а, б, в, г, д), видом и режимом предварительной термической и пластической обработки (рисунок Б.1 е, ж, к).

Наиболее распространенным видом является кривая упрочнения, изображенная на рисунке Б.1а. Этим видом кривых упрочнения обладают термически обработанные и горячекатаные углеродистые и легированные конструкционные и инструментальные стали, многие высоколегированные стали, железо, алюминий и его сплавы, медь и титан и большинство их сплавов, легкие металлы и ряд труднодеформируемых металлов и их сплавов. В этих кривых упрочнения напряжение течения сравнительно сильно возрастает на начальных стадиях деформации, в дальнейшем интенсивность упрочнения плавно уменьшается, а затем с ростом деформации почти не изменяется. Для пластичных металлов и сплавов интенсивность увеличения σ_s с ростом ε_l меньше, чем для прочных металлов и сплавов.

Второй вид кривых упрочнения (рисунок Б.1б) характеризуется большой интенсивностью упрочнения, которая может несколько уменьшаться при больших степенях деформации. Такой тип кривой упрочнения характерен для аустенитных сталей, некоторых медных и титановых сплавов.

Третий вид упрочнения (рисунок Б.1в) описывает зависимость $\sigma_s(\varepsilon_l)$ циркония и сплава на его основе цирколай-2. Для таких кривых упрочнения интенсивность упрочнения при небольших степенях деформации весьма незначительна, а затем резко возрастает; несущественное уменьшение интенсивности упрочнения проявляется при степенях деформации, близких к разрушению.

Четвертый вид кривых упрочнения (рисунок Б.1г) отличается тем, что после достижения максимального значения σ_s его значение с дальнейшим увеличением ε_l или уменьшается, или остается неизменным. Такой тип кривых упрочнения установлен для цинка и его сплавов с алюминием в отожженном состоянии (кривая *2*), закаленном и состаренном состоянии (кривая *1*), а также для некоторых алюминиевых сплавов при высоких степенях деформации.

Кривые упрочнения, представленные на рисунке Б.1д, характерны для сверхпластичных материалов. Ход кривой $\sigma_s(\varepsilon_l)$ для таких материалов сложный, с проявлением максимумов и минимумов (пятый вид кривых упрочнения).

Представленные на рисунке Б.1е кривые упрочнения (шестой вид) характерны для различных пластичных сплавов, получивших предварительную обработку давлением в холодном состоянии при сравнительно небольших деформациях (примерно 0,1—0,15), причем направления нагрузок при предварительном и последующем деформировании противоположны (например волочение + осадка). При этом интенсивность изменения σ_s меньше для сплавов, получивших большую степень предварительной деформации (кривая *3* по сравнению с кривой *1*). У таких кривых упрочнения интенсивность возрастания σ_s с ростом ε_l во всем диапазоне степеней деформации меньше, чем у кривых упрочнения первых трех видов (рисунки Б.1 а, б, в).

Кривые упрочнения, изображенные на рисунке Б.1ж, относятся к предварительно деформированным в холодном состоянии сплавам с противоположным направлением нагрузок при предварительном и последующем деформировании, пластичным сталям с большими степенями предварительной деформации (более 0,1—0,15), сталям средней и высокой прочности, латуням и бронзам с высокими степенями предварительной деформации.

Восьмой вид (рисунок Б.1и) кривых упрочнения соответствует сталям и некоторым сплавам на его основе, получившим предварительную обработку в виде холодной пластической деформации, при этом направление приложения нагрузки при обеих деформациях совпадает. Более пологий наклон кривых упрочнения (кривые *3* и *4*) соответствует более высоким степеням предварительной деформации. Для таких сталей характерна невысокая интенсивность роста σ_s с увеличением ε_l.

Кривые упрочнения первого вида хорошо аппроксимируются зависимостью

$$\sigma_s = \sigma_{s1}\ \varepsilon_1^n . \qquad \text{(Б.1)}$$

С некоторым приближением зависимость (Б.1) описывает кривые упрочнения второго и третьего вида. Рекомендуется использовать эту зависимость для аппроксимации кривой упрочнения четвертого вида в диапазоне степеней деформации до возникновения максимума на ней.

Кривые упрочнения шестого, седьмого и восьмого типов с достаточной для практики точностью могут быть линеаризированы и тогда с некоторым приближением их можно аппроксимировать уравнением

$$\sigma_s = \sigma'_{s0} + b'\varepsilon_l , \qquad \text{(Б.2)}$$

где σ'_{s0} — экстраполированный предел текучести предварительно деформированных сталей (отрезок, отсекаемый линеаризированной прямой на оси ординат);

b' — коэффициент, характеризующий наклон линеаризованных кривых упрочнения.

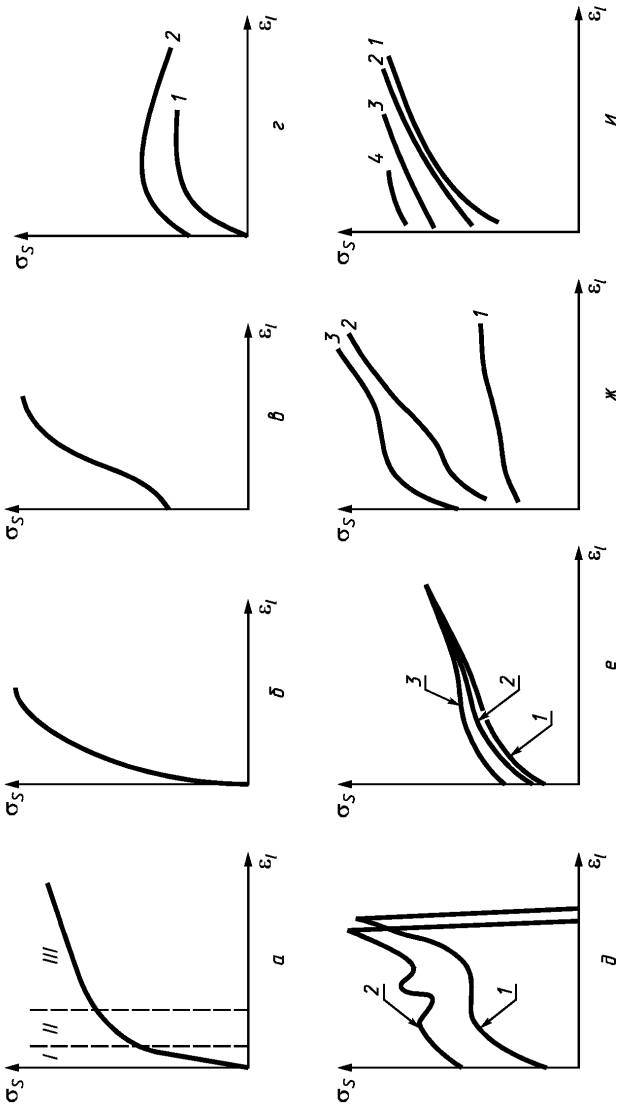


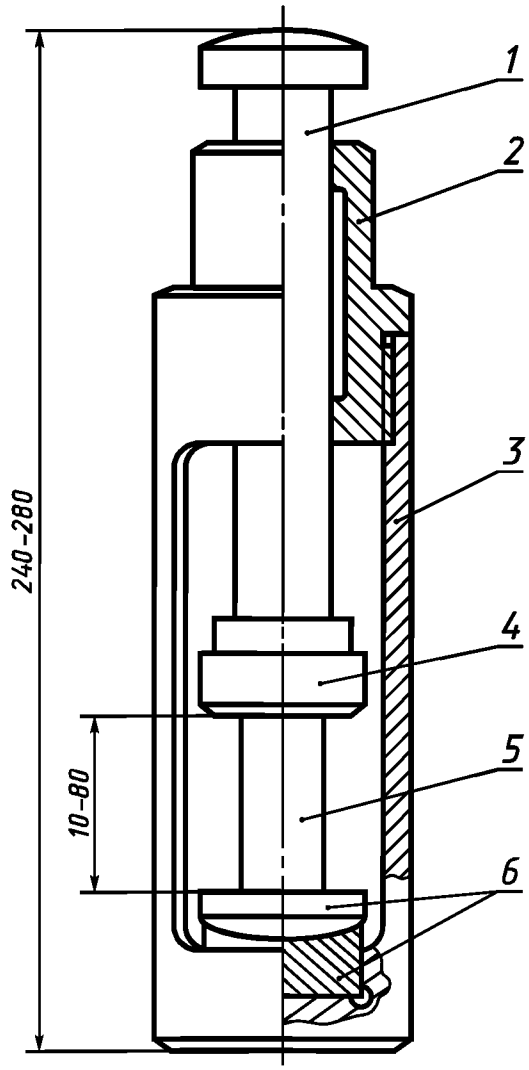
Рисунок Б.1 — Типы кривых упрочнения

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(рекомендуемое)

Конструкции приспособлений для испытаний образцов на сжатие

На рисунке В.1 приведен сборочный чертеж приспособления для проведения испытаний на сжатие, позволяющего исключить перекосы между образцом и деформирующей плитой и уменьшить погрешность нагружения образца.

Допускается использование приспособлений иных конструкций.



1 — пуансон; *2* — направляющая втулка; *3* — основание; *4* — опорная верхняя плита; *5* — образец; *6* — самоустанавливающая опора со сменным вкладышем

Рисунок В.1 — Приспособление для испытания на сжатие

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(рекомендуемое)

ПРОТОКОЛ

испытания образцов I—III типов для оценки механических характеристик

Назначение испытаний _____

Испытательная машина. Тип _____

Образец. Тип _____. Твердость по шкалам Бринелля или

Роквелла _____

Номер образца	h_0	d_0	A_0	Нагрузка, Н (кгс)					Характеристика, МПа (кгс/мм^2)					
				$F_{пц}$	$F_{0,05}$	$F_т$	$F_{0,2}$	F_{max}	$\sigma^c_{пц}$	$\sigma^c_{0,05}$	$\sigma^c_т$	$\sigma^c_{0,2}$	$\sigma^c_в$	E^c

К протоколу прилагается диаграмма испытаний.

Испытания проводил Личная подпись Расшифровка подписи

Зав. лабораторией Личная подпись Расшифровка подписи

ПРОТОКОЛ

испытания цилиндрических образцов III и IV типов для построения кривой упрочнения

Назначение испытаний _____

Испытательная машина. Тип _____. Образец. Тип _____

Номер образца	Твердость по шкалам Бринелля или Роквелла	h_0, мм	$h_к$, мм	d_0, мм	$d_к$, мм	A_0, мм^2	$A_к$, мм^2	ε_l	F, Н(кгс)	σ_s, МПа (кгс/мм^2)

Испытания проводил Личная подпись Расшифровка подписи

Зав. лабораторией Личная подпись Расшифровка подписи

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(рекомендуемое)

СВОДНЫЙ ПРОТОКОЛ

испытания образцов I—IV типов для оценки механических характеристик и параметров аппроксимирующих уравнений кривых упрочнения

Название испытаний _____

_____

Характеристика испытуемого материала:

Марка и состояние _____

Направление волокна _____

Тип заготовки _____

Тип и размеры образца _____

Состояние поверхности образца _____

Твердость по шкалам Бринелля или Роквелла _____

_____

Тип и основные характеристики испытательной машины и измерительной техники:

испытательной машины _____

тензометра _____

преобразователя перемещений _____

измерительных приборов и инструмента _____

преобразователя силы _____

самопишущего прибора _____

Условия испытаний:

Материалы и твердость деформирующих плит (НВ или $HRC_э$)_____

Скорость относительной деформации, $с^{-1}$ _____

Скорость нагружения, МПа/с ($кгс/мм^2 \cdot с$) _____

Скорость перемещения деформирующей плиты, мм/с_____

Результаты испытаний

Номер образца	$\sigma^c_{пц}$, МПа ($кгс/мм^2$)	$\sigma^c_{0,05}$, МПа ($кгс/мм^2$)	σ^c_r, МПа ($кгс/мм^2$)	$\sigma^c_{0,2}$, МПа ($кгс/мм^2$)	$\sigma^c_в$, МПа ($кгс/мм^2$)	E^c, МПа ($кгс/мм^2$)	σ_s, МПа ($кгс/мм^2$)	ε_l	σ_{sl}, МПа ($кгс/мм^2$)	σ'_{s0}, МПа ($кгс/мм^2$)

Испытания проводил Личная подпись Расшифровка подписи

Зав. лабораторией Личная подпись Расшифровка подписи

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(рекомендуемое)

Обработка экспериментальных данных для построения кривой упрочнения. Оценка параметров аппроксимирующих уравнений

1 При испытании партии образцов

Для каждого конкретного значения ε_l испытывают по одному образцу. Кривые упрочнения, описываемые уравнениями $\sigma_s = \sigma_{s1}\,\varepsilon_l^n$ (рисунки Б.1а, б, в) или $\sigma_s = \sigma'_{s0} + b'\,\varepsilon_l$ (рисунки Б.1 е, ж, к), строятся по результатам обработки методом наименьших квадратов всех экспериментальных точек во всем диапазоне изучаемых степеней деформации. Обработку следует проводить на ЭВМ. При этом для кривых упрочнения определяют параметры аппроксимирующих уравнений σ_{s1}, n, σ'_{s0}, b'.

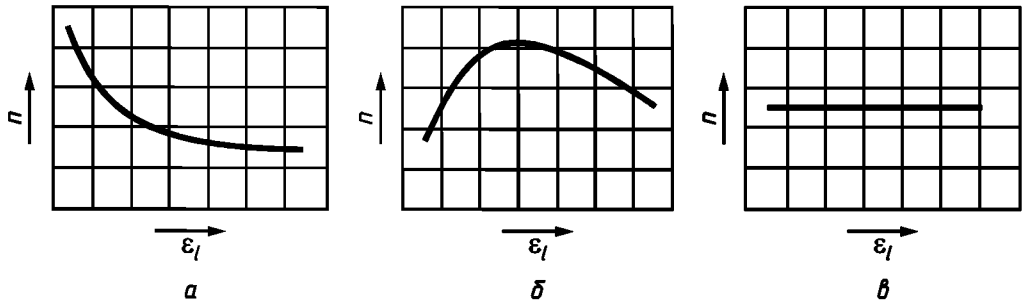


Рисунок Е.1 — Типовые зависимости показателя деформационного упрочнения n от степени деформации ε_l

В случае обработки опытных данных аналитическим путем рекомендуется использовать справочную литературу.

2 При ограниченном количестве испытаний

При ограниченном количестве опытов (пяти образцах) кривые упрочнения строят на основе обработки диаграмм машинных записей по осадке всех испытуемых образцов до конечной степени деформации. σ_s рассчитывают для значений ε_l равных 0,01; 0,03; 0,05; 0,08; 0,1, и далее через каждые 0,05 до конечного значения степени деформации ε_l. Для каждого значения ε_l σ_s определяют как среднюю по данным (пяти точек). Построение кривых упрочнения и дальнейшую обработку опытных данных проводят, как при испытании партии образцов.

3 Определение показателя деформационного упрочнения *n* при малых степенях деформации и в узком их диапазоне

Для большинства металлов и сплавов зависимость n (ε_l) не является линейной функцией (рисунок Е.1): с ростом ε_l обычно уменьшается n, достигая при больших значениях ε_l практически постоянной величины (рисунок Е.1а), или вначале увеличивается, достигнув максимума, а затем уменьшается (рисунок Е.1б). И только в отдельных случаях n ε_l носит линейный характер (рисунок Е.1а).

Первый вид зависимости (рисунок Е.1б) характерен для меди, углеродистых конструкционных и инструментальных сталей, ряда конструкционных легированных сталей.

Представленный на рисунке Е.1б вид зависимости n ε_l присущ для материалов, испытывающих структурно-фазовые превращения при деформации — аустенитные стали, некоторые латуни. Практически не меняется величина n с ростом ε_l (рисунок Е.1в) для железа, хромистых конструкционных сталей. Для алюминиевых сплавов в зависимости от их химического состава наблюдаются все три вида зависимости n ε_l.

В связи с изменением n с ростом ε_l для большинства металлов и сплавов возникает необходимость в определении n при небольших степенях деформации и в узком их диапазоне. n может быть определена путем обработки опытных данных на ЭВМ методом наименьших квадратов, однако количество экспериментальных точек должно быть не менее 8—10 в рассматриваемом диапазоне степеней деформации или рассчитано по формуле

$$n = \frac{N\sum\limits_{i=1}^{N} (\lg \sigma_s)_i\,(\lg\ \varepsilon_l)_i - \sum\limits_{i=1}^{N} (\lg \varepsilon_l)_i \sum\limits_{i=1}^{N} (\lg \sigma_s)_i}{N\sum\limits_{i=1}^{N} [\lg^2 (\varepsilon_l)_i]^2 - [\sum\limits_{i=1}^{N} (\lg \varepsilon_l)_i]^2}. \qquad \text{(Е.1)}$$

МКС 77.040.10 В09 ОКСТУ 0025

Ключевые слова: методы испытания на сжатие, образцы, оборудование, аппаратура, методика, результаты испытаний, модуль упругости, предел пропорциональности, предел упругости, физический предел текучести, условный предел текучести, предел прочности для хрупких материалов, кривая упрочнения, напряжение течения, показатель деформационного упрочнения

gost.e-ecolog.ru