

## **ОПД.Ф.02.02 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ**

Методические указания к лабораторной работе

В работе описаны методики определения механических характеристик конструкционных материалов при испытании на сжатие. Приведены список учебной и специальной литературы, а также вопросы контроля знаний студентов. Указаны правила по технике безопасности.

Предназначены для студентов дневной, вечерней и заочной форм обучения.

**Цель работы:** исследовать поведение различных материалов при испытаниях на сжатие. Определить механические характеристики пластичных, хрупких и анизотропных материалов.

## **Введение**

Испытания на сжатие широко применяют в машиностроении, строительной индустрии и других отраслях хозяйственной деятельности. Так ГОСТ 10180-90 устанавливает методы определения предела прочности на сжатие, растяжение, изгиб образцов из бетона. ГОСТ 8462-85 устанавливает методы определения предела прочности при сжатии и изгибе стеновых материалов: силикатного и керамического кирпича, бетонных блоков и др. ГОСТ 16483.10-73 устанавливает методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон образцов из древесины. Метод определения условного предела прочности при сжатии древесины поперёк волок устанавливает ГОСТ 16483.11-72.

## **1. Теоретическая часть**

Испытание на сжатие черных и цветных металлов и сплавов при температуре 20 °С регламентируется ГОСТ 25.503-97. Этот же ГОСТ устанавливает методику построения кривой упрочнения при сжатии и оценки ее параметров.

Основными механическими характеристиками материалов, определяемыми по результатам испытаний образцов на сжатие, являются:

- модуль упругости;
- предел пропорциональности;
- предел упругости;
- физический предел текучести;
- условный предел текучести;
- предел прочности.

Характеристики пластичности при сжатии не определяются.

Указанные величины механических характеристик могут быть использованы в случаях:

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

## 1.1. Понятие о хрупкости и пластичности материалов

Способность материала без разрушения получать большие остаточные деформации называют *пластичностью*. Противоположным является свойство *хрупкости*, то есть способности материала разрушаться без образования заметных остаточных деформаций. Для материалов, обладающих свойством хрупкости, величина удлинения при разрыве не превышает 2–5 %.

Однако хрупкость и пластичность являются относительными характеристиками, так как зависят от способа обработки материала, вида напряженного состояния, температуры и скорости нагружения. Например, бетон, являющийся при простом растяжении или сжатии типично хрупким материалом, можно заставить деформироваться как пластичный, если нагружать цилиндрический образец из бетона давлением, приложенным не только по основаниям цилиндра, но и по его боковой поверхности.

С другой стороны, малоуглеродистую сталь – пластичный материал, можно поставить в такие условия работы (низкая температура, высокоскоростное нагружение), при которых она дает совершенно хрупкое разрушение.

Таким образом, характеристики «хрупкий» и «пластичный», которые мы даём материалам на основании опытов на растяжение и сжатие, относятся лишь к поведению этих материалов при обычных *температурах, статическом* нагружении и лишь при сопротивлении *указанным видам деформаций*. Вообще же хрупкий материал может перейти в пластичный и наоборот. Поэтому правильнее говорить не о «хрупком» и «пластичном материале», а о *хрупком или пластичном состоянии* материала.

## 1.2. Образцы для испытаний на сжатие (по ГОСТ 25.503-97)

Испытания проводят на образцах четырёх типов (рис. 1): цилиндрических и призматических (квадратных и прямоугольных), с гладкими торцами I–III типов и торцевыми выточками IV типа.

*Образцы I типа* (пятикратные, с отношением  $h_0/d_0 = 5$ ) применяют для определения модуля упругости и предела пропорциональности, то есть в упругой области нагружения и малых пластических деформациях. На рабочей части образца устанавливают тензомер.

*Образцы II типа* (трехкратные) используют при определении предела пропорциональности и предела упругости, то есть при малых пластических деформациях.

Высоту *образцов III типа* определяют по формуле, содержащей показатель деформационного упрочнения  $n$ , зависящий от класса материала (стали, цветные сплавы и т. д.), и коэффициент приведения высоты  $v$ , зависящий от типа образца (I, II, III, IV):

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

Величины  $n$  и  $\nu$  приведены в приложении к ГОСТу 25.503-97.

Так, для образца диаметром  $d_0 = 20$  мм из среднеуглеродистой стали расчётная высота  $h_0 = 40$  мм. Образцы этого типа применяют для определения пределов текучести  $\sigma_T^c$  и  $\sigma_{0,2}^c$ , а также построения кривой упрочнения.

Образцы IV типа имеют буртики на обоих торцах для удержания смазки и снижения (предотвращения) торцевого трения. Размеры буртика подсчитывают по формуле в зависимости от свойств испытуемого материала. Так, для образца  $d_0 = 20$  мм и  $h_0 = 40$  мм высота буртика  $t_0 = 0,25-0,3$  мм, а его толщина  $u_0 = 0,5-0,8$  мм. Эти образцы используют для построения кривой упрочнения, то есть при больших пластических деформациях.

Для построения кривых упрочнения применяют только цилиндрические образцы. Диаметры образцов II, III и IV типов выбирают из диапазона от 6 до 30 мм.

При испытании образцов I, II типов торцы образцов обезжиривают. Смазывание торцов смазочным материалом недопустимо. При испытании образцов III типа допускается применение смазочного материала (например, машинное масло с графитом), а при испытании образцов IV типа применение смазки является обязательным. В качестве смазочного материала для образцов IV типа применяют воск, стеарин, парафин или их смесь. Смазочный материал наносят в жидком состоянии.

Стандартом оговорена скорость *относительной деформации*. Допускается контролировать скорость *нагружения* (от 3 до 30 МПа/с).

## 1.2. Термины и определения

В указанном выше, действующем на настоящий момент, стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениями.

**Диаграмма испытаний (сжатия)** – график зависимости нагрузки от абсолютной деформации (укорочения) образца.

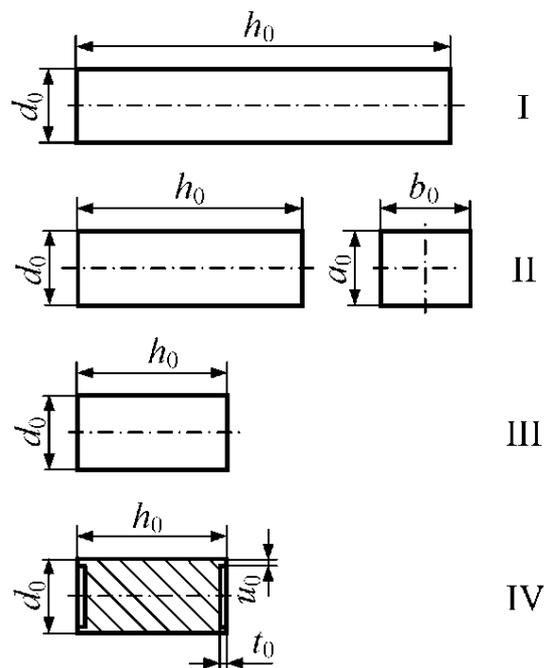


Рис. 1. Типы экспериментальных образцов

**Кривая упрочнения** – график зависимости напряжения течения от логарифмической деформации.

**Осевая сжимающая нагрузка** – нагрузка, действующая на образец в данный момент испытания.

**Условное номинальное напряжение** ( $\sigma$ ) – напряжение, определяемое отношением нагрузки к начальной площади поперечного сечения.

**Напряжение течения** ( $\sigma_s$ ) – напряжение, превышающее предел текучести, определяемое отношением нагрузки к действительной для данного момента испытаний площади поперечного сечения образца при равномерном деформировании.

**Предел пропорциональности при сжатии** ( $\sigma_{\text{пц}}^c$ ) – 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  $F_{\text{пц}}$  с осью нагрузок, увеличивается на 50 % от своего значения на линейном участке.

**Предел упругости при сжатии** ( $\sigma_{0,05}^c$ ) – напряжение, при котором относительная остаточная деформация (укорочение) образца ( $\epsilon$ ) достигает 0,05 % первоначальной расчётной высоты образца.

**Предел текучести (физический) при сжатии** ( $\sigma_T^c$ ) – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения сжимающей нагрузки.

**Условный предел текучести при сжатии** ( $\sigma_{0,2}^c$ ) – напряжение, при котором относительная остаточная деформация (укорочение) образца ( $\epsilon$ ) достигает 0,2 % первоначальной расчётной высоты образца.

**Предел прочности при сжатии** ( $\sigma_B^c$ ) – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению.

**Показатель деформационного упрочнения** ( $n$ ) – степенной показатель аппроксимирующей кривые упрочнения уравнения  $\sigma_s = \sigma_{s1} \cdot \epsilon_\ell^n$ , характеризующий способность металла к упрочнению при равномерной пластической деформации.

### 1.3. Сжатие пластичных материалов

Разрушить образец из пластичного материала при сжатии, как правило, нельзя, так как происходит только осадка образца (рис. 2). Следова-

тельно, предел прочности в этих случаях найден быть не может. Поэтому определяют условный предел прочности, соответствующий заданной величине остаточной деформации. Если при сжатии в образце возникают трещины, то он считается разрушенным.

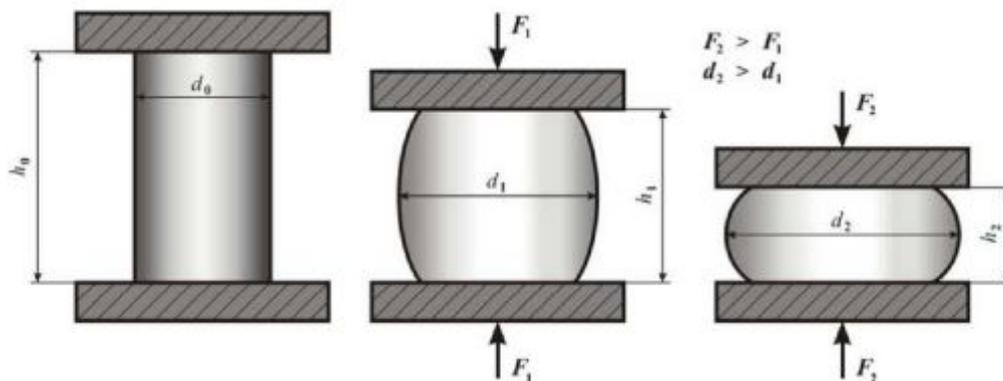


Рис. 2. Сжатие образца типа III из пластичного материала

Многочисленные опыты показывают, что при испытании на сжатие форма, которую приобретает деформированный образец, зависит от первоначального отношения высоты образца к его диаметру  $h_0/d_0$ . От этого же отношения зависит и сопротивление деформации, которое будет зафиксировано при испытании. Это объясняется наличием трения на поверхности контакта между плитами машины и торцами испытуемого образца (торцевое трение). Данное явление неблагоприятно сказывается на результатах испытания (вследствие искажения вида напряженного состояния) и будет рассмотрено ниже.

На рис. 3 приведены диаграммы, полученные при испытании на сжатие цилиндрических образцов из среднеуглеродистой стали одинакового диаметра  $d_0$ , но с различным начальным отношением  $h_0/d_0$ .

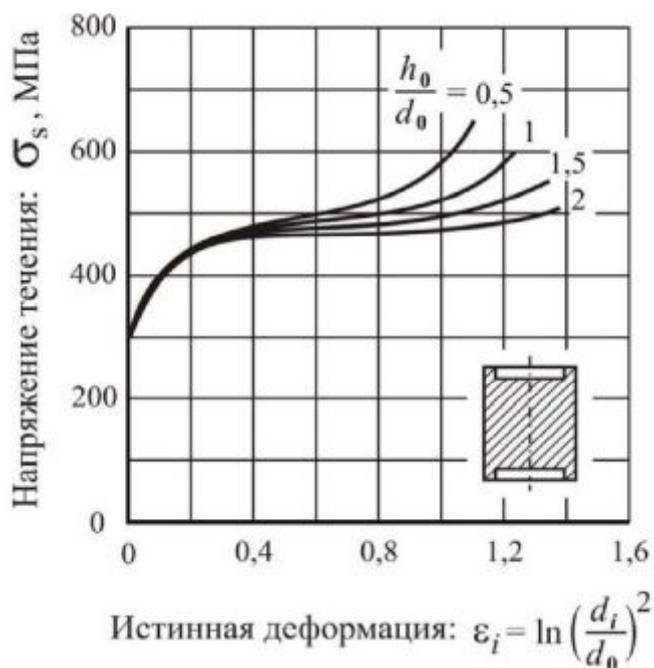


Рис. 3. Диаграммы сжатия цилиндрических образцов из стали 45

Как видно из этих данных, при переходе от относительно длинных образцов с начальным отношением  $h_0/d_0 = 2$  к коротким образцам ( $h_0/d_0 = 0,5$ ) сопротивление пластическому деформированию существенно возрастает.

Вследствие трения на контактных поверхностях поперечная деформация материала в областях, прилегающих к опорным плитам машины, оказывается затрудненной, и образец принимает характерную бочкообразную форму (см. рис. 2).

При испытании на сжатие стальных образцов из малоуглеродистой стали при достижении нагрузки, соответствующей пределу текучести, можно заметить кратковременную остановку стрелки силоуказателя. В таких случаях можно определить физический предел текучести. Если остановки стрелки не будет, а на диаграмме сжатия нельзя четко обнаружить площадку текучести, то определяется условный предел текучести  $\sigma_{0,2}^c$ .

При сжатии площадка текучести выражена менее четко, чем при растяжении, так как увеличение площади сечения образца при сжатии вызывает рост нагрузки. Определение условных пределов пропорциональности и упругости на образцах, применяемых в настоящей работе, по машинной диаграмме сжатия невозможно, так как вследствие малой длины образцов абсолютная величина их деформации будет незначительна (при  $\varepsilon_{ост} = 0,2\%$ ), и записывающее устройство машины ГМС-50 не может обеспечить достаточного для этой цели увеличения деформации.

Для пластичных материалов величины пределов текучести, определенные из опытов на растяжение и сжатие, оказываются близкими друг к другу.

При достижении физического предела текучести как при растяжении, так и при сжатии на поверхности хорошо отполированного образца можно увидеть появление полос скольжения, направленных под углом  $45^\circ$  к оси образца. Это линии Чернова-Людерса. Причины появления этих линий, представляющих собой следы выхода на поверхность образца пластических сдвигов, те же, что и при растяжении.

Продолжая наблюдение за нагрузкой при проведении испытания на сжатие, замечаем, что за пределом текучести нагрузка на образец непрерывно растет, спада нагрузки не наблюдается. В этом заключаются основные отличия в машинных диаграммах растяжения и сжатия пластичных материалов. При сжатии пластичных материалов, каким является малоуглеродистая сталь, нагрузка продолжает непрерывно расти, не проявляя тенденции к снижению, и разрушение образца не происходит. В связи с этим у пластичных материалов не удастся определить предел прочности при сжатии.

## 1.4. Сжатие хрупких материалов

При сжатии образцов из хрупкого материала, разрушение происходит по плоскостям, параллельным оси образца или по плоскостям, наклоненным к оси под углом  $45^\circ$  (рис. 4), совпадающим с направлением площадок, по которым действуют максимальные касательные напряжения. Первое чаще имеет место при смазанных торцевых поверхностях образца из очень хрупких материалов (например, мрамора), а второе – при испытаниях без смазки.

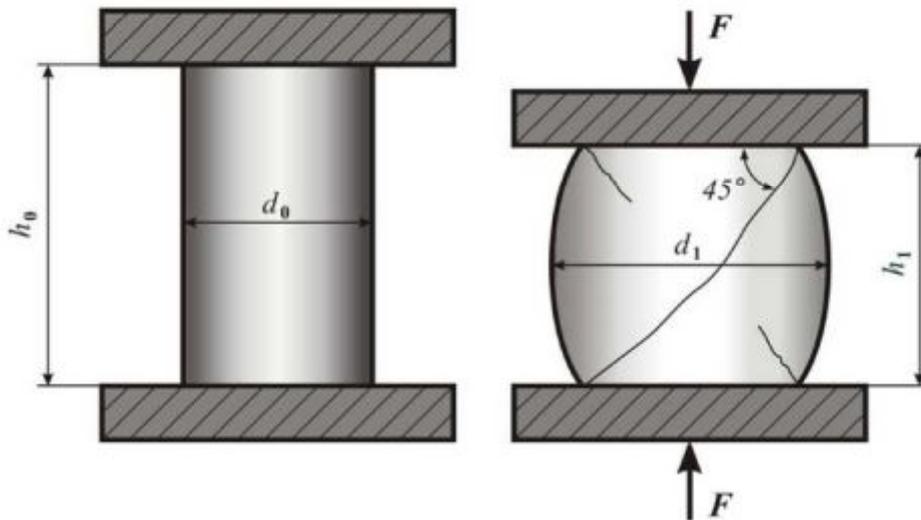


Рис. 4. Сжатие хрупкого материала

Диаграмма сжатия хрупкого материала представляет собой нелинейную зависимость с малыми деформациями, быстрым ростом нагрузки, а испытание заканчивается разрушением образца (рис. 5).

По максимальной нагрузке определяют предел прочности материала на сжатие, который является основным показателем, характеризующим хрупкий материал. Опыт показывает, что предел прочности хрупкого материала при смазке торцевых поверхностей оказывается меньше, чем для такого же материала, но без смазки. Это еще раз указывает на существенное влияние торцевого трения не только на характер разрушения, но и на величину предела прочности, то есть на зависимость результата опыта от условий эксперимента.

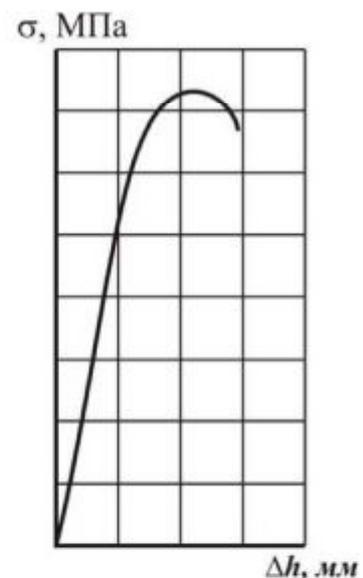


Рис. 5. Диаграмма сжатия хрупкого материала

В качестве образцов при испытании хрупких материалов на сжатие, помимо цилиндрических (например, чугун), применяются также кубические образцы (бетон).

Для примера приведем в таблице 1 параметры образцов для испытания на сжатие бетона.

Таблица 1

Метод	Форма образца	Размер образца, мм
определение прочности на сжатие	куб	длина ребра: 100; 150; 200; 300

### 1.5. Разносопротивляемость хрупких материалов

В ряде случаев представляется необходимой оценка свойств хрупких материалов по-разному сопротивляться различным видам деформаций, например, растяжению и сжатию. Для пластичных материалов сопоставление прочностных характеристик на растяжение и сжатие ведётся по пределу текучести ( $\sigma_T^p$  и  $\sigma_T^c$ ). Принято считать, что  $\sigma_T^p = \sigma_T^c$ .

Для хрупких материалов оценка прочностных свойств производится, как правило, по величине предела прочности при растяжении  $\sigma_B^p$  и сжатии  $\sigma_B^c$ . Эти материалы обладают обычно более высокими прочностными показателями при сжатии, нежели при растяжении. Например, величина отношения

$$m = \frac{\sigma_B^p}{\sigma_B^c} \quad (2)$$

для чугуна колеблется в пределах 0,2–0,4; керамических материалов – 0,1; для инструментальных сталей – 0,4–0,5.

Разная сопротивляемость хрупких материалов при разных видах деформации учитывается в расчетах на прочность, куда обязательно входят пределы прочности при растяжении и сжатии (см., например, теорию прочности Мора).

### 1.6. Торцевое трение и методы его устранения

Как уже упоминалось выше, при сжатии образцов, преимущественно цилиндрической формы, между поверхностью плиты машины и торцами испытуемого материала возникает торцевое трение, приводящее к возникновению бочкообразности. Определим, к чему приводит это явление.

В сжатом образце можно наблюдать три зоны, отличающиеся различной степенью деформации (рис. 6). Первая зона *уменьшенной деформации* у контактных поверхностей. Здесь деформация затруднена в резуль-

тате торцевого трения, и материал находится в состоянии всестороннего сжатия. Вторая зона – в средней части образца, где материал находится в состоянии, близком к осевому сжатию. В этой зоне деформация образца протекает наиболее интенсивно. Третья зона, в которой деформация протекает менее интенсивно, чем во второй зоне, расположена по периферии образца.

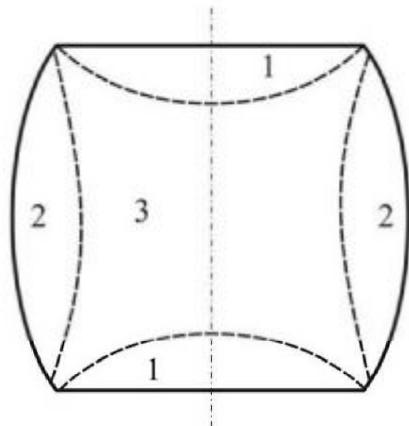


Рис. 6. Зоны деформации сжатого образца

Наличие зон с различной деформацией подтверждается и измерениями твердости в различных точках продольного сечения осаженного образца. По изложенным выше причинам осевые давления на торцевой поверхности осаживаемого образца распределяются также неравномерно.

Для исключения вредного влияния торцевого трения, а, следовательно, и бочкообразности применяются специальные методы. Приведем некоторые из них.

1. Сжатие образцов с прокладками из полимера (рис. 7, а), которые в виде тонкой пленки устанавливаются между торцевыми поверхностями образца и опорными плитами машины. Это позволяет существенно уменьшить коэффициент трения (для пары сталь – пленка из полимера коэффициент трения уменьшается до 0,04).

2. Переточка образца в процессе испытания, заключающаяся в снятии появившейся бочкообразности и восстановлении первоначального отношения  $h_0/d_0$ .

3. Применение образцов с конусными торцами, сжимаемых коническими опорами с углом  $\alpha$ , определяемым коэффициентом трения  $\mu$  (рис. 7, б). Такие образцы делаются сплошными или с осевым отверстием. Тангенс угла  $\alpha$  должен быть равен коэффициенту трения.

4. Применение образцов с кольцевой расточкой на торцах, заполненной густой смазкой (рис. 7, в).

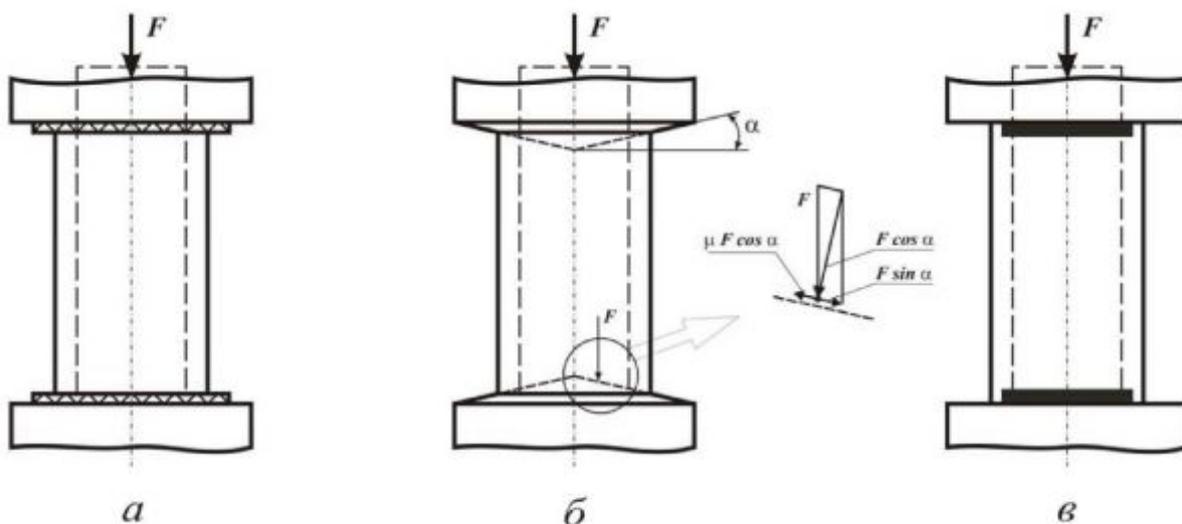


Рис. 7. Схемы образцов на сжатие:  
 а) с торцевыми прокладками; б) с конусными торцами;  
 в) с кольцевой расточкой на торцах, заполненных смазкой

Влияние трения, искажающего линейное напряженное состояние даже в средней части образца, начинает существенно проявляться для коротких образцов при  $h_0/d_0 \leq 1$ . Поэтому надо рекомендовать применение образцов с отношением  $1 < h_0/d_0 < 2$ . Применение образцов с большим отношением  $h_0/d_0$  оказывается практически невозможным, так как такие образцы при сжатии теряют устойчивость и искривляются (или перекашиваются).

### 1.7. Сжатие анизотропного материала

Существуют материалы, способные воспринимать при растяжении бóльшие нагрузки, чем при сжатии, например, дерево и некоторые композиты, под которыми понимаются искусственно созданные составные неоднородные материалы. К ним относятся материалы, армированные прямолинейными волокнами, тканями, хаотически расположенными непрерывными или короткими волокнами, частицами и иным способом. В большинстве своем они обладают свойством *анизотропии прочности*, то есть *зависимостью свойств материала от направления*.

Испытание анизотропных материалов, имеющих различные свойства по разным направлениям, рассмотрим на примере дерева.

Дерево является типичным анизотропным материалом, чтобы убедиться в наличии анизотропии механических свойств дерева, нужно провести испытание деревянных образцов дважды. Один раз сжать образец вдоль волокон (ГОСТ 16483.23-73), а другой раз – поперек волокон (ГОСТ 16483.11-72). Результаты испытаний показаны на рис. 8.

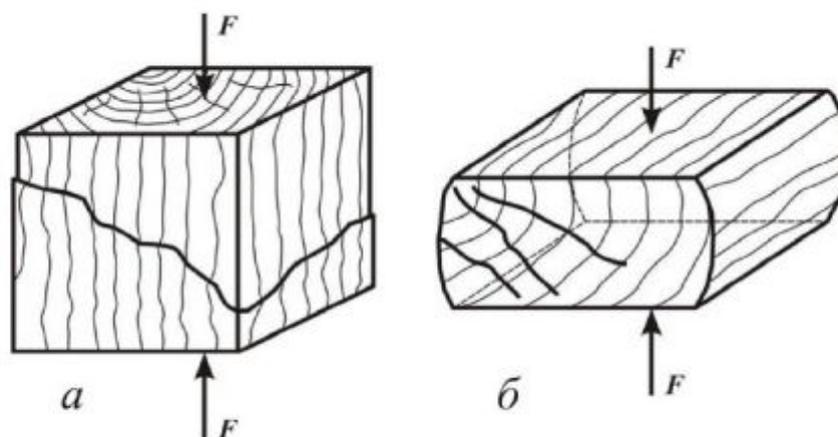


Рис. 8. Вид кубического образца из дерева при сжатии вдоль (а) и поперек (б) волокон

При сжатии вдоль волокон дерево выдерживает значительно бóльшие нагрузки, чем при сжатии поперек волокон. При этом имеет место и разный характер разрушения. При сжатии деревянных образцов вдоль волокон разрушение происходит в результате сдвига слоев в плоскости, наклоненной к продольной оси под углом  $45^\circ \div 60^\circ$ . Диаграмма сжатия таких образцов по виду напоминает диаграмму сжатия хрупкого материала (см. рис. 5).

При сжатии образцов поперек волокон деформация происходит при почти постоянной или при незначительно повышающейся нагрузке, несмотря на то, что начинают обнаруживаться внешние признаки разрушения материала и становятся видны значительные трещины. Здесь диаграмма по виду напоминает диаграмму сжатия пластичного материала. Полного разрушения кубика не происходит – он существенно спрессовывается. Следовательно, здесь нельзя определить непосредственно разрушающую нагрузку.

Нагрузки, соответствующие пределу прочности дерева при сжатии вдоль волокон и чугуна, определяются по машинным диаграммам, либо по положению контрольной стрелки по шкале испытательной машины, как максимальные нагрузки  $F_B^{c//} = F_{max}$ .

За разрушающую нагрузку при сжатии дерева поперек волокон условно принимают ту нагрузку, при которой образец сжимается на  $1/3$  от своей первоначальной высоты. Эту нагрузку можно определить непосредственно по машинной диаграмме сжатия. Для этого надо знать масштаб по оси деформации и первоначальную высоту образца. Графический метод определения  $F_B^{c\perp}$  разберите самостоятельно по рис. 9.

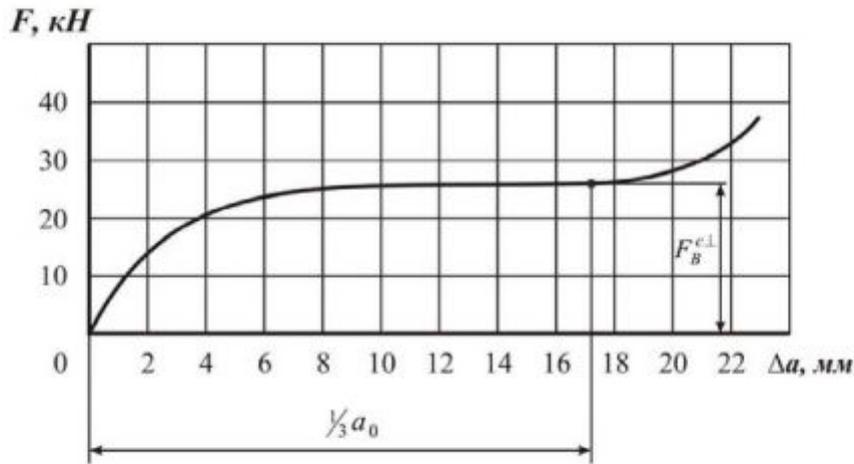


Рис. 9. Графический метод определения  $F_B^{c\perp}$  для образцов из дерева (начальный размер ребра куба  $a_0 = 50$  мм)

Для дерева можно посчитать пределы прочности при сжатии вдоль и поперек волокон:

$$\sigma_B^{\parallel} = \frac{F_B^{c\parallel}}{A_0}; \quad \sigma_B^{\perp} = \frac{F_B^{c\perp}}{A_0}, \quad (3)$$

где  $A_0$  – площадь поперечного сечения исходного образца.

Определяется коэффициент анизотропии, показывающий, во сколько раз предел прочности при сжатии дерева вдоль волокон больше предела прочности при сжатии того же материала поперек волокон:

$$K = \frac{\sigma_B^{\parallel}}{\sigma_B^{\perp}}. \quad (4)$$

## 2. Испытательное оборудование

В качестве испытательного оборудования используется гидравлическая машина ГМС-50, предназначенная для нагружения образцов статической нагрузкой при испытании на растяжение и сжатие. Максимальное усилие, развиваемое машиной, равно 500 кН. Машина имеет три шкалы, что позволяет производить испытания при нагрузках, соответственно, до 100 кН, до 200 кН и до 500 кН. Машина оборудована маятниковым силоизмерителем. Переход на работу по одной из трех шкал осуществляется путем изменения веса груза, укрепленного на конце маятника. Машина снабжена устройством барабанного типа для автоматической записи диаграмм деформаций.

### 3. Рекомендации по оформлению отчета

Рекомендуется следующая структура составления отчета:

- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- испытательная машина, материал для испытаний;
- испытание пластичного материала на сжатие: материал образца, вид образца до и после испытания (с указанием размеров), машинная диаграмма сжатия образца (с указанием масштабов по координатным осям сил и деформаций); определение характеристик прочности ( $\sigma_T^c$  или  $\sigma_{0,2}^c$ );
- испытание хрупкого материала на сжатие: материал образца, вид и размеры образца до и после испытания, машинная диаграмма сжатия образца; определение характеристики прочности ( $\sigma_B^c$ );
- испытание на сжатие анизотропного материала: материал образцов, вид и размеры деревянного образца при сжатии вдоль волокон до и после испытания, вид и размеры деревянного образца при сжатии поперек волокон до и после испытания, машинные диаграммы сжатия дерева вдоль и поперек волокон; определение характеристик прочности при сжатии дерева вдоль и поперек волокон ( $\sigma_B^{\parallel}$  и  $\sigma_B^{\perp}$ );
- выводы (кратко описать, разделяя по пунктам, поведение материалов при испытании на сжатие: особенности деформации и разрушения пластичных, хрупких и анизотропных материалов).

### 4. Вопросы для самопроверки

1. Какими характеристиками оценивается прочность материала и какими – пластичность?
2. Для каких материалов и почему нельзя определить физический предел текучести (предел прочности)?
3. В пределах какого участка диаграммы сжатия сохраняет силу закон Гука?
4. Нарисуйте характерный вид диаграммы сжатия для хрупкого и пластичного материала (сталь, чугун, дерево).
5. Каков характер деформации и разрушения для пластичного и хрупкого материала? Нарисуйте вид образцов до и после испытания.
6. Как определяется величина относительной остаточной деформации, отвечающая условному пределу текучести при испытаниях на сжатие?
7. Как определяется нагрузка (напряжение), отвечающая пределу текучести (прочности) при испытании на сжатие?
8. Какими методами можно уменьшить вредное влияние торцевого трения при испытании образцов на сжатие?

9. Приведите примеры изотропных и анизотропных материалов. Что такое «коэффициент анизотропии прочности» и как он определяется?

10. Чем объясняется возникновение бочкообразной формы образца при сжатии?

11. Какова величина коэффициента анизотропии прочности дерева?

12. Чем объясняется разрушение хрупких материалов по наклонным площадкам, ориентация которых с осью образца составляет ориентировочно 45°?

#### **4. Правила по технике безопасности**

1. Запрещается приступать к работе до получения инструктажа от преподавателя и росписи в журнале по технике безопасности.

2. Убедитесь в исправности заземления (при отсутствии заземления работа на испытательной машине запрещается).

3. Помните, что машина подключена к сети с напряжением 380 Вольт, поэтому не следует без необходимости касаться ее металлических частей.

4. При испытании на сжатие запрещается находиться ближе 1,5 метра от машины, так как при разрушении образца возможен разлет осколков.

#### **5. Список рекомендуемой литературы**

1. *Афанасьев, А. М.* Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / А. М. Афанасьев, В. А. Марьин. – М. : Наука, 1975. – 287 с.

2. *Беляев, Н. М.* Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. – М. : Наука, 1976. – 607 с.

3. *Золоторевский, В. С.* Механические свойства металлов / В. С. Золоторевский – М. : Металлургия, 1983. – 350 с.

4. *Феодосьев, В. И.* Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М. : Наука, 1986. – 512 с.

5. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – Взамен ГОСТ 1497-73; введ. 01.01.86. – М. : Стандартиформ, 2005. – 22 с. (Межгосударственный стандарт).

6. ГОСТ 25.503-97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. – Взамен ГОСТ 25.503-80; введ. 01.07.99. – Минск. – 24 с. (Межгосударственный стандарт).