

Лабораторная работа № 2

Изучение метода испытания на сжатие металлических образцов.

Цель работы: экспериментальное определение характеристик прочности материалов при сжатии в соответствии с ГОСТ 25.503-97.

Задачи работы:

- изучение нормативных документов;
- изучение испытательной и измерительной техники;
- освоение метода определения механических характеристик прочности при сжатии.

Содержание работы

Основным нормативным документом, регламентирующим метод испытания на сжатие металлических образцов, является вышеуказанный стандарт.

Согласно стандарту для обеспечения выполнения рассматриваемого экспериментального исследования, необходимо иметь:

- объекты испытания (образцы);
- испытательное оборудование;
- измерительную технику;
- регламентированный порядок проведения испытаний;
- порядок обработки полученных результатов.

Теоретические основы испытания материалов на сжатие.

Для испытания металлов на сжатие применяются цилиндрические образцы с отношением высоты к диаметру в пределах 1,5...3,0. Применение более длинных образцов недопустимо, так как такие образцы могут искривляться и тем самым искажать результаты испытаний. Следует обратить внимание на некоторую условность получаемых результатов из-за наличия сил трения в опорных поверхностях образца. Поэтому стараются ослабить влияние сил трения введением различных смазок или приданием конусной формы торцевым поверхностям образца.

Диаграммы сжатия различных материалов

Диаграмма низкоуглеродистой стали. Начальный участок диаграммы является прямолинейным — до точки А (рис. 16).

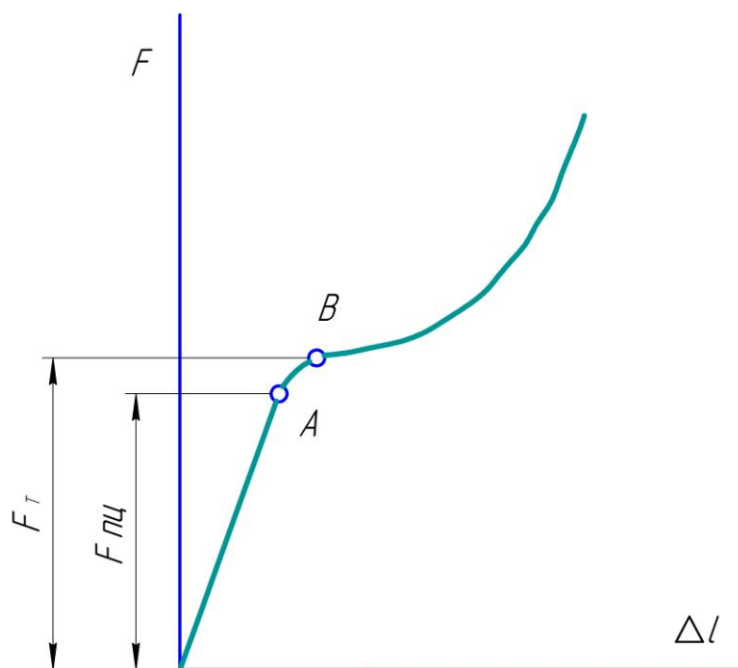


Рис. 16 Диаграмма сжатия низкоуглеродистой стали

Угол наклона совпадает с углом наклона аналогичного участка диаграммы растяжения. Это свидетельствует о том, что модуль упругости у стали при растяжении и сжатии можно принимать одинаковым. После точки А диаграмма плавно переходит в кривую, подобную диаграмме растяжения. Площадка текучести здесь выражена слабо. При дальнейшем нагружении, когда развиваются значительные пластические деформации, образец сплющивается, принимая бочкообразную форму. Обычно на этом испытание заканчивают, так как образец разрушить не удается, не удается определить и предел прочности. Значения предела пропорциональности и предела текучести при растяжении и сжатии практически одинаковы.

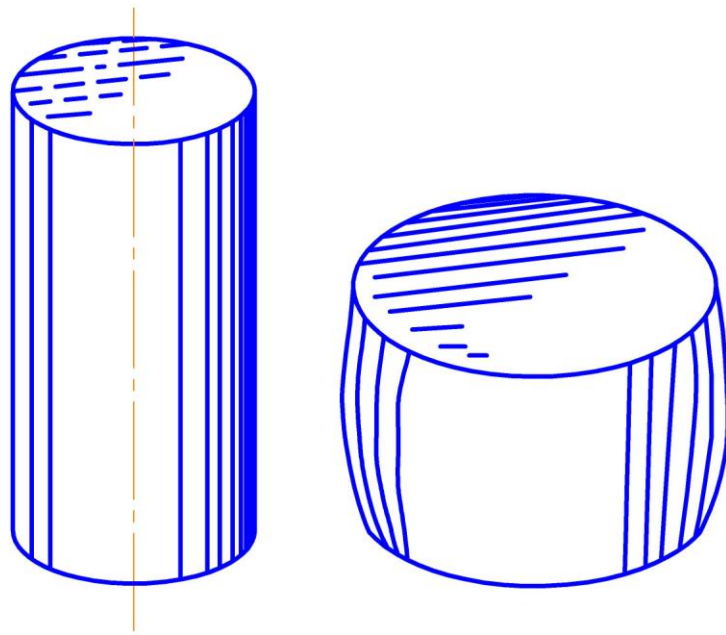


Рис 17 Схема разрушения низкоуглеродистых сталей при сжатии.

Диаграмма чугуна. Диаграмма с самого начала имеет почти линейную зависимость (рис. 18).

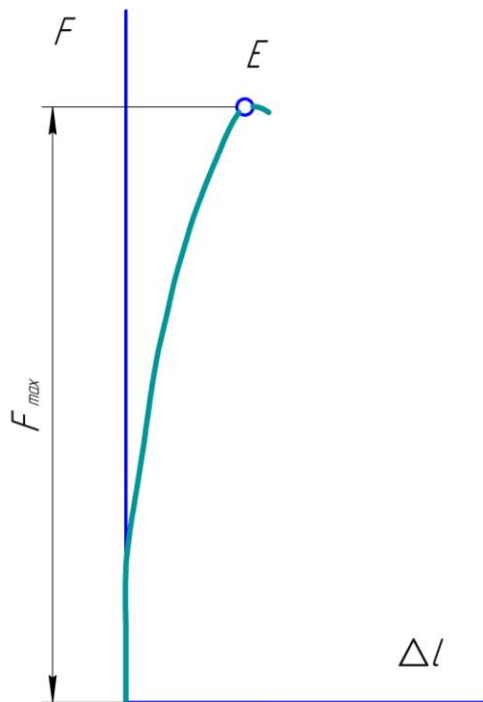


Рис 17 Диаграмма сжатия чугуна

На этом участке диаграммы форма и размеры образца изменяются незначительно. При приближении к максимальной нагрузке кривая диаграммы становится более пологой и образец принимает слегка бочкообразную форму. Когда нагрузка достигает наибольшего значения,

на поверхности образца появляются трещины, угол наклона которых приблизительно равен 45° . Наступает разрушение чугунного образца. Разрушение материала происходит в основном от сдвигов по площадкам с наибольшими касательными напряжениями.

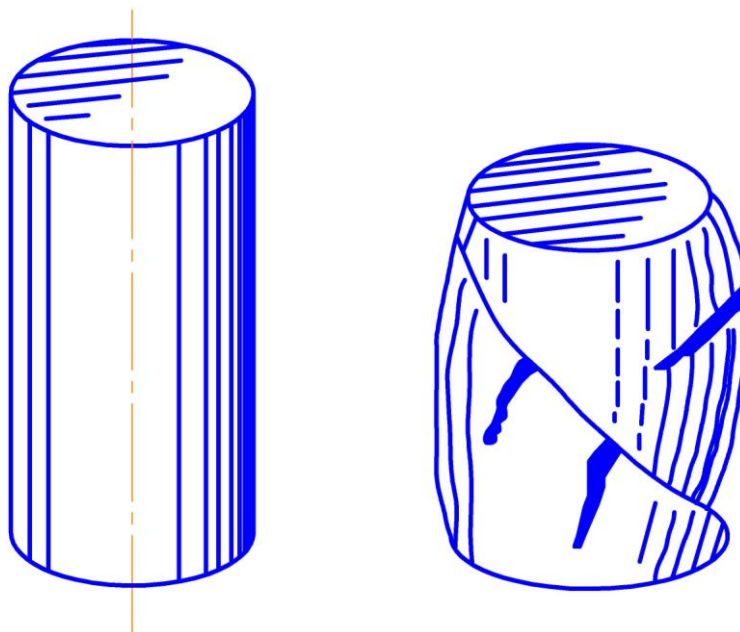


Рис 18 Схема разрушения чугунов при сжатии.

Большинство хрупких материалов (бетон, камень) разрушается при сжатии так же, как чугун, и имеет подобную диаграмму. Хрупкие материалы сопротивляются сжатию значительно лучше, чем растяжению. Например, у серого чугуна предел прочности на сжатие равен 560...900 МПа, а на растяжение— 120... 190 МПа, т. е. примерно в 4...5 раз больше.

Влияние различных факторов на механические характеристики материалов

Описанные испытания материалов проводятся при нормальных условиях, т. е. при температуре 20°C, непрерывном и плавном перемещении захватов машины со скоростью не более 10 мм/мин. Однако существуют различные условия, в которых приходится работать материалу конструкций. Например, при повышенных температурах или при пониженных температурах, при действии радиоактивных, особенно нейтронных, проникающих излучений и др. Ясно, что механические свойства материалов будут изменяться и зависеть от условий эксплуатации конструкций, элементов машин и механизмов.

Влияние температуры. При повышении температуры у большинства материалов механические характеристики прочности уменьшаются, а при понижении температуры увеличиваются. Например, у стали марки Ст3 при $t = 500^\circ\text{C}$, $\sigma_T = 140$ МПа, $\sigma_B = 250$ МПа; при $t = 600^\circ\text{C}$ $\sigma_T = 40$ МПа, $\sigma_B = 150$ МПа, т. е. предел текучести σ_T стремится к 0 и при $t = 600 \dots 650^\circ\text{C}$ наступает температурная пластичность. При отрицательных температурах у сталей увеличивается хрупкость — при $t < -45^\circ\text{C}$ Ст3 становится хрупкой. Это свойство называется хладноломкостью.

Характеристики пластичности с повышением температуры увеличиваются, а с понижением температуры уменьшаются. При изменении температуры не остаются постоянными и физические характеристики материала: при повышении температуры модуль упругости E существенно уменьшается, а коэффициент Пуассона μ незначительно увеличивается — с 0,28 до 0,33.

Зависимости механических характеристик от повышения температуры показаны на рис 19.

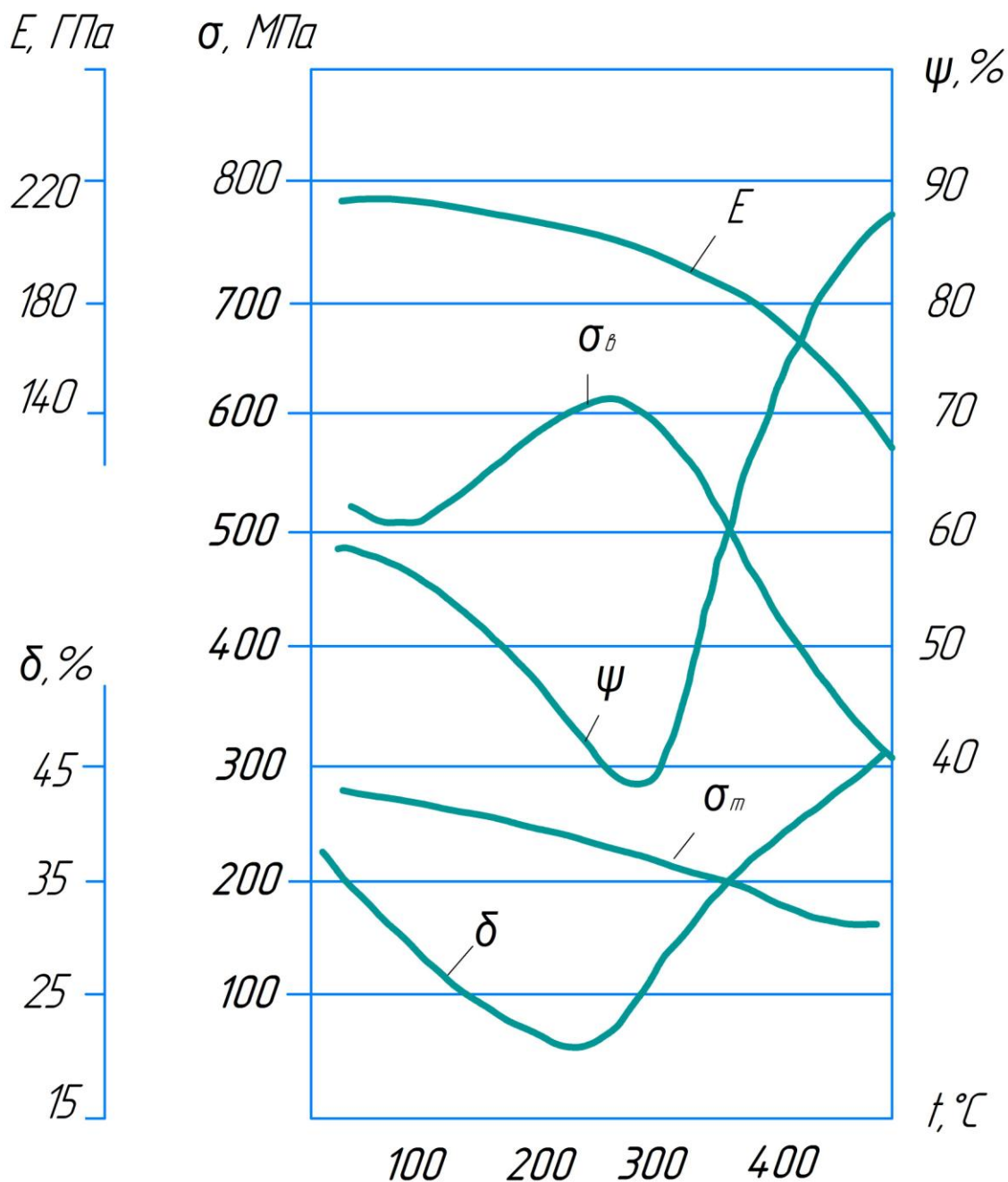


Рис 19 Влияние повышения температуры на механические характеристики низкоуглеродистой стали.

В настоящее время созданы и широко применяются специальные сплавы и металлокерамические материалы, которые могут надежно работать при повышенных температурах (до 1000°C).

Влияние термической обработки. В качестве термической обработки стали используют ее закалку. **Закалка стали** приводит к значительному повышению предела текучести и временного

сопротивления, но при этом снижаются ее пластические свойства; модуль упругости практически не изменяется. Например, для придания указанных свойств низкоуглеродистой стали проводят ее **цементацию** — увеличение содержания углерода в поверхностном слое, с последующей закалкой этого слоя. Для улучшения структуры и механических свойств стали также применяют **нормализацию** — нагрев стали до температуры 750...950°C, выдержка ее и последующее охлаждение на воздухе. Часто нормализация предшествует закалке.

Влияние скорости деформации. Скорость нагружения и, следовательно, скорость деформирования влияют на механические характеристики материалов. С их увеличением у материалов увеличиваются механические характеристики прочности, особенно у пластмасс и других органических материалов. На рис. 20 изображены диаграммы напряжений низкоуглеродистой стали при статическом и динамическом нагружения — средняя скорость деформации равна 970 с^{-1} .

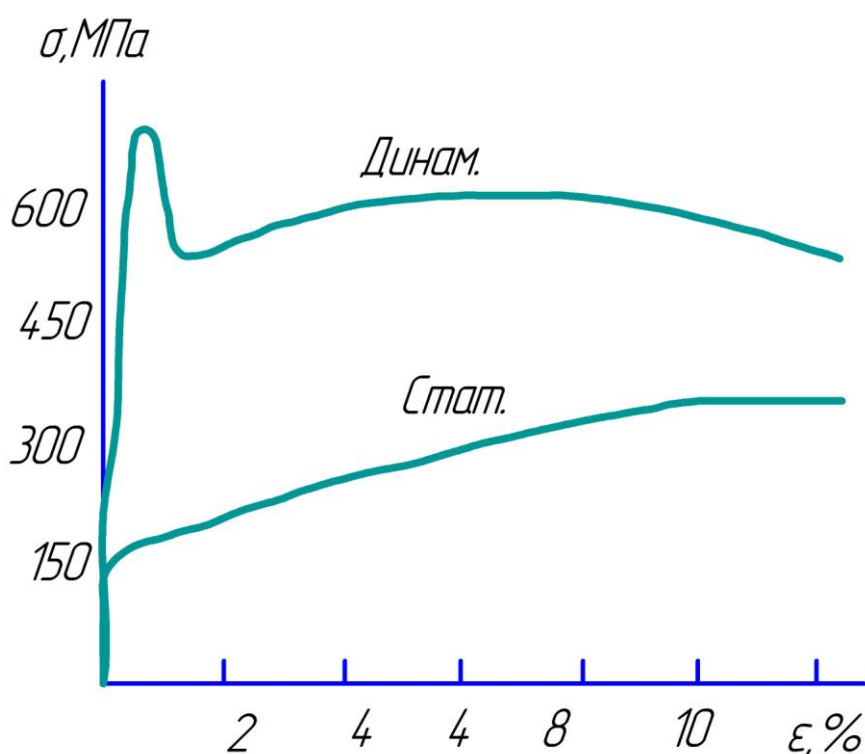


Рис 20 Влияние на диаграмму напряжений низкоуглеродистой стали статического и динамического нагружений.

Сравнение этих диаграмм показывает, что предел текучести и временное сопротивление стали выше, а модуль упругости при динамическом испытании практически не изменился. Об этом же свидетельствуют зависимости σ_T , σ_b , и δ низкоуглеродистой стали от средней скорости деформации, показанной на рис. 21.

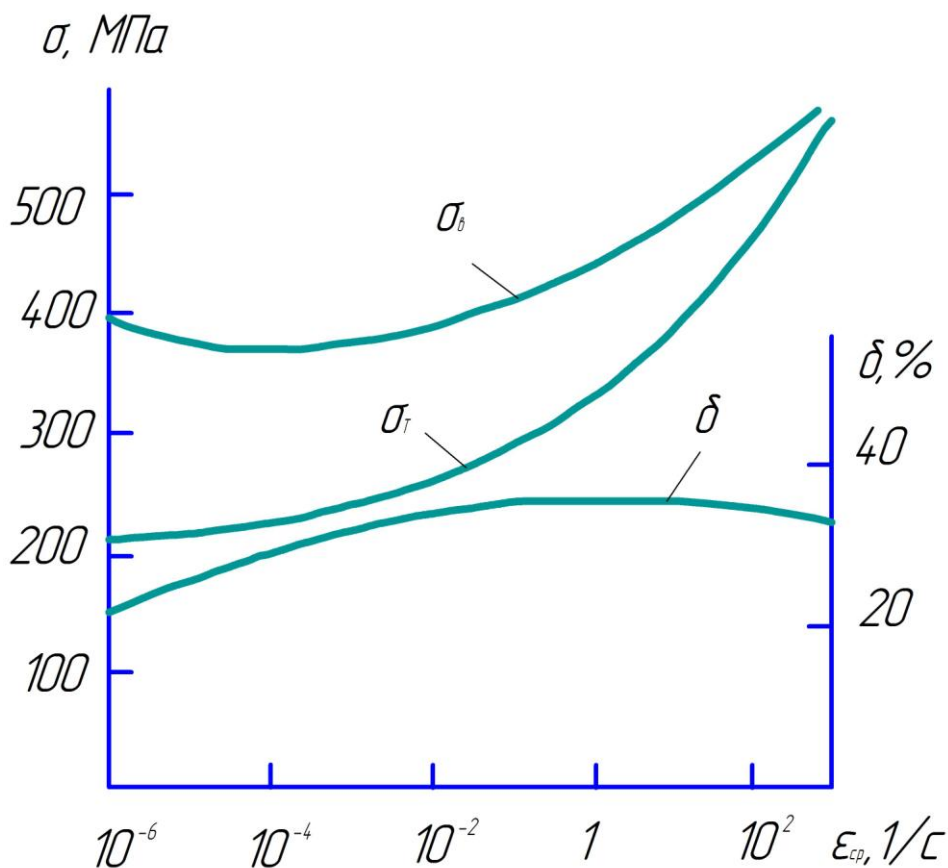


Рис. 21. Влияние скорости деформации на механические характеристики низкоуглеродистой стали.

Влияние технологических факторов. Механические характеристики стали, даже одного состава, зависят от способа ее получения и обработки.

При литье возможность образования различных дефектов в виде пустот, раковин и включений увеличивается. Это приводит к снижению механических характеристик прочности стали.

Прокатка меняет структуру стали — делает ее анизотропной. При этом значительно изменяются механические свойства в направлении прокатки — сталь становится более прочной; в других направлениях

механические свойства существенно отличаются от свойств в направлении прокатки.

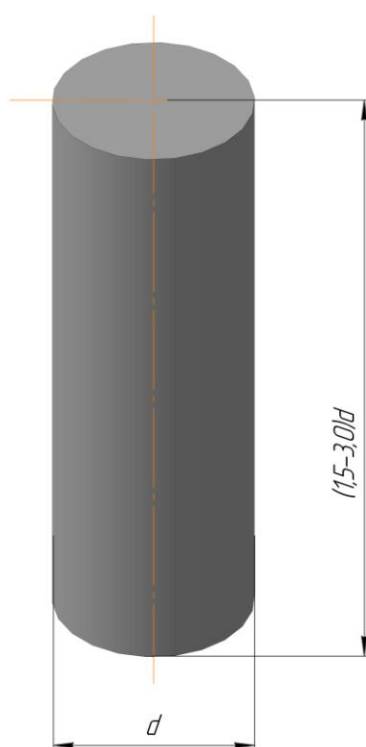
Волочение представляет собой вытяжку с обжатием. Изделия, полученные таким способом, — стальная проволока и стальные листы — обладают высокими прочностными свойствами.

Существуют и другие способы технологической обработки стали: токарная обработка, обработка поверхности роликами, хромированием и др. Все эти способы направлены на то, чтобы улучшить прочностные свойства металлов.

Влияние радиоактивного облучения. Влияние этого фактора на конструкции атомных реакторов, синхрофазотронов и т. п. приводит к увеличению механических характеристик прочности и уменьшению характеристик пластичности. Конечно, влияние облучения зависит от его дозы.

Порядок проведения испытаний

Испытание на сжатие осуществляется обычно при помощи тех же испытательных машин с применением специальных приспособлений (реверсоров).



Объектами испытания служат образцы, форма и размер которых выбирают по ГОСТ 25.503–97. Для построения кривых упрочнения следует использовать только цилиндрические образцы. Основной диаметр (d_0) стандартного образца стандарт рекомендует принимать равным 20 мм. Вообще выбор диаметра фактически определяется мощностью (усилием) испытательного оборудования. Но диаметр следует выбирать, исходя из нормативного ряда, рекомендуемого стандартом (6;10;15;20;25;30 мм). Высоту образца принимают по Приложению 1 указанного стандарта, что составляет интервал вида:

$$1,5 \leq \frac{h_0}{d_0} \leq 2 \quad \text{для различных материалов.}$$

Следует отметить, что опыты выполняют на универсальных или специализированных испытательных машинах, отвечающих требованиям ГОСТ 25.503 и ГОСТ 28.840. Принимаемое испытательное оборудование должно быть оснащено преобразователями силы и перемещения, позволяющими записать графическую зависимость укорочения образца от сжимающей нагрузки. При этом масштаб записи по оси перемещений должен составлять от 10:1 до 300:1, а масштаб записи по оси нагрузок должен обеспечить запись диаграммы с высотой не менее 250 мм, соответствующим наибольшему значению нагрузки.

При испытаниях следует обращать особое внимание на совпадение геометрической оси испытательной машины с геометрической осью образца, чтобы влияние эксцентриситета приложения нагрузки было по возможности незначительным. Схема испытательной машины см. на рис.1 лабораторной работы №1.

Измерительные устройства должны соответствовать требованиям ГОСТ 18957. Суммарная погрешность измерения и регистрации перемещений не должна превышать $\pm 2\%$ от измеряемой величины.

Погрешность измерения диаметра образца не должна быть более:

0,01мм– для образцов с диаметром $d_0 < 10$ мм;

0,05мм – для образцов с диаметром $d_0 \geq 10$ мм.

Таким образом, в качестве измерительных инструментов можно применять микрометры, штангенциркули и индикаторные устройства с различной ценой деления.

Порядок выполнения работы и обработки полученных результатов

Перед испытанием следует измерить рабочие размеры испытываемых образцов. Форма и размеры образцов приведены на рис.1.

Следует измерить по перпендикулярным направлениям 1-1 и 2-2 диаметр образца в трех сечениях(Б-Б,В-В,С-С). Результаты измерений занести в таблицы 1 и 2.

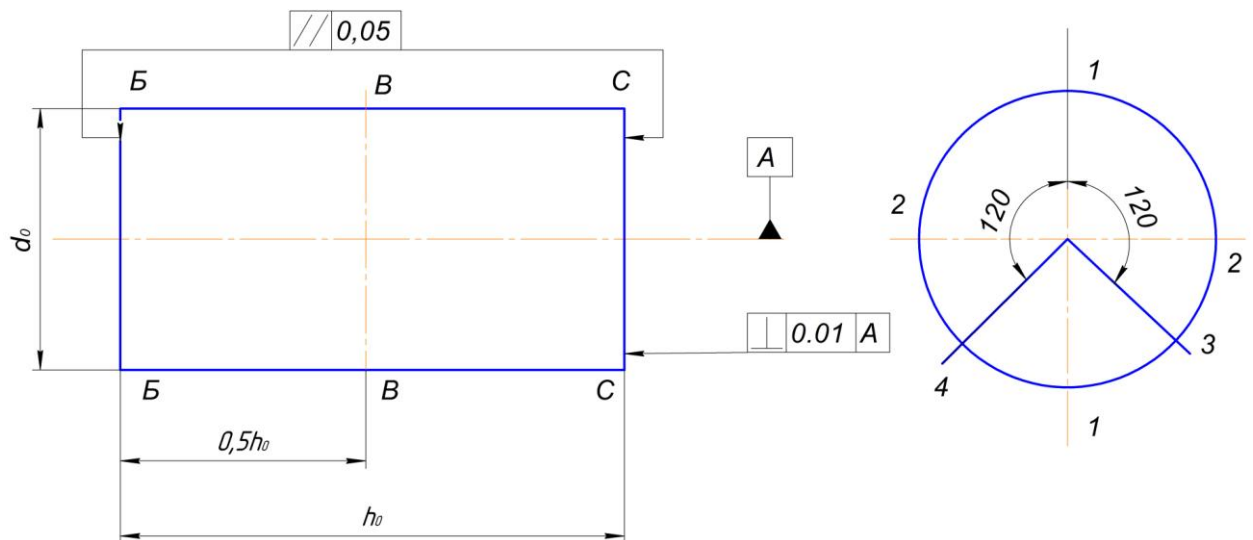


Рисунок .23 Эскиз металлического образца для испытания на сжатие

Таблица 1 – Испытание стали на сжатие

Материал образца	Значения диаметров в сечениях, мм					
	Сечения Б-Б		Сечения В-В		Сечения С-С	
	d_{01}^B	d_{02}^B	d_{01}^B	d_{02}^B	d_{01}^C	d_{02}^C
Сталь						
Среднее значение						

Таблица 2 – Испытание чугуна на сжатие

Материал образца	Значения диаметров в сечениях, мм					
	Сечения Б-Б		Сечения В-В		Сечения С-С	
	d_{01}^B	d_{02}^B	d_{01}^B	d_{02}^B	d_{01}^C	d_{02}^C
Чугун						
Среднее значение						

Среднее значение диаметра в каждом сечении определить по формулам:

Сталь

Чугун

$$d_{0cp}^B = \frac{d_{01}^B + d_{02}^B}{2} =$$

$$d_{0cp}^B = \frac{d_{01}^B + d_{02}^B}{2} =$$

$$d_{0cp}^B = \frac{d_{01}^B + d_{02}^B}{2} =$$

$$d_{0cp}^B = \frac{d_{01}^B + d_{02}^B}{2} =$$

$$d_{0cp}^C = \frac{d_{01}^C + d_{02}^C}{2} =$$

$$d_{0cp}^C = \frac{d_{01}^C + d_{02}^C}{2} =$$

Далее следует выделить из полученных средних значений наименьшее и принять его за d_{0i}^i

Сталь - $d_{0i}^i = d_{0min}^i =$

; Чугун - $d_{0i}^i = d_{0min}^i =$

Полученное значение занести в таблицу 3.

По значению d_0 вычислить с точностью до 0,05 мм² площадь поперечного сечения (F_0).

Начальную высоту сечения образца измерить по трем образующим цилиндра (1,3 и 4). Полученные значения записать в виде:

Сталь $h_{01} =$ $h_{03} =$ $h_{04} =$

Чугун $h_{01} =$ $h_{03} =$ $h_{04} =$

Вычислить среднее значение начальной высоты h_0 по формуле:

$$h_0 = \frac{h_{01} + h_{03} + h_{04}}{3} =$$

Полученное значение занести в таблицу 3.

Подготовленный таким образом к испытаниям образец следует тщательно установить по центру нижней плиты испытательной машины.

Непосредственно перед испытанием записать используемую шкалу силоизмерителя испытательной машины в Примечание к таблице 3.

После испытания снять максимальную нагрузку по принятой шкале силоизмерителя, записать это значение нагрузки в соответствующую графу таблицы 3. Полученная величина усилия позволит вычислить масштаб диаграммы сжатия образца по оси нагрузок.

Для вычисления масштабов по оси Δh следует измерить (по такой же схеме, как и до испытания) высоту образца после испытания. Результат измерения записать в виде:

Сталь $h_{01} =$	$h_{03} =$	$h_{04} =$
Чугун $h_{01} =$	$h_{03} =$	$h_{04} =$

Вычислить средние значения и записать их в таблицу 3.

Полученные величины позволяют определить цену деления диаграммы сжатия по осям P и Δh аналогично испытанию на растяжение.

$$K_p = \frac{P_{\max}}{L_p} = \quad \text{кг/мм}; \quad K_h = \frac{\Delta h_0}{l_h} =$$

мм/мм.

После определения масштабов диаграмм на них наносят характерные нагрузки соответствующие пределу пропорциональности, условному пределу текучести и условному пределу прочности ($P_{\text{пл}}$, P_{02} и P_b). Следует отметить что под нагрузкой P_b следует понимать такую нагрузку, при которой испытуемый образец сжимается на 1/3 от своей первоначальной высоты. Поэтому в рассматриваемом случае нагрузки P_{max} и P_b не совпадают, что отличает испытание при сжатии от испытаний при растяжении. Сказанное относится только к результатам испытания стальных образцов, поскольку их довести до разрушения при сжатии не представляется возможным.

Определив величины нагрузок ($P_{\text{пл}}$, P_{02} и P_b) следует подсчитать значение механических характеристик прочности по формулам:

$$\text{Сталь } \sigma_{III}^C = \frac{P_{III}}{F_0} = \quad \sigma_{02}^C = \frac{P_{02}}{F_0} = \quad \sigma_B^C = \frac{P_B}{F_0} =$$

$$\text{Чугун } \sigma_{III}^r = \frac{P_{III}}{F_0} = \quad \sigma_{III}^r = \frac{P_B}{F_0} =$$

Все рассчитанные значения характеристик прочности следует занести в таблицу № 3.

Характеристики пластичности при сжатии не определяют, но в учебных целях для сравнения можно определить относительное остаточное укорочение для стали по формуле:

$$\delta = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% =$$

Полученную величину для стали можно сравнить с величиной относительного остаточного удлинения при растяжении.

Для оценки точности выполненного эксперимента можно сравнить полученные значения для стального образца с аналогичными характеристиками, полученными в результате испытаний на растяжение по формулам:

$$\Delta\sigma_{02} = \frac{\sigma_{02}^C - \sigma_T^p}{\sigma_T^p} \times 100\% =$$

$$\Delta\sigma_B = \frac{\sigma_B^C - \sigma_B^p}{\sigma_B^p} \times 100\% =$$

где σ_{02}^C и σ_B^C - предел текучести (условный) и предел прочности для стальных образцов, полученные при испытаниях на сжатие;

σ_T^p и σ_B^p - предел текучести и предел прочности для стальных образцов, полученные при испытаниях на растяжение.

Полученные значения отклонений позволят сделать выводы о неодинаковости (неравноупругости) работы материалов при различных видах нагружения.

Лабораторная работы № 3

Изучение метода испытания «на сжатие» деревянных образцов

Цель работы: Экспериментальное определение механических характеристик прочности дерева при сжатии вдоль и поперек волокон.

Задачи работы:

- изучение нормативных документов;
- изучение испытательной и измерительной техники;
- освоение метода определения механических характеристик прочности дерева при сжатии вдоль и поперек волокон.

Содержание работы

Основными нормативными документами, регламентирующими метод испытания древесины на сжатие, являются

ГОСТ 16 483.10-73 (при испытаниях вдоль волокон);

ГОСТ 16 483.11-72 (при испытаниях поперек волокон).

Стандарт регламентирует:

- объекты испытания (образцы);
- испытательное оборудование;
- измерительную технику;
- порядок выполнения испытаний;
- порядок обработки полученных данных.

В соответствии с рассмотренным порядком объектами испытания служат образцы кубической формы с размерами стороны 20 мм и более. Вообще образец должен содержать не менее пяти годичных слоев.

При изготовлении образцов из древесины следует учитывать, что древесина является анизотропным материалом, поэтому её испытывают, согласно стандартам, на сжатие вдоль и поперек волокон. Влажность древесины не должна превышать величины 12%. Допуск на размеры образцов устанавливают по 14 квалитету, т.е. их не указывают на чертеже.

В качестве испытательного оборудования стандарты рекомендуют использовать как универсальные, так и специализированные испытательные машины типа УМ-5, УММ-5, УММ-50.

Измерительная техника должна соответствовать требованиям по точности измерений. В частности, размеры образцов(кубиков) должны быть измерены с точностью до 0,1 мм, т.е. в качестве измерительного инструмента может быть использован штангенциркуль. Соответственно площадь поверхности сжатия образца также следует подсчитать с точностью до 0,1 мм².

Теоретические основы испытания деревянных образцов на сжатие.

Древесина относится к анизотропному материалу, сопротивляемость которой внешней нагрузке зависит от расположения волокон при испытании. Диаграммы сжатия древесины вдоль (кривая 1) и поперек (кривая 2) волокон показаны на рис. 24.

При сжатии образца вдоль волокон на участке OA древесина работает почти упруго и рост деформаций фактически происходит пропорционально увеличению нагрузки. При дальнейшем увеличении нагрузки деформации начинают расти быстрее, чем усилия. Это указывает на упругопластическую область работы материала.

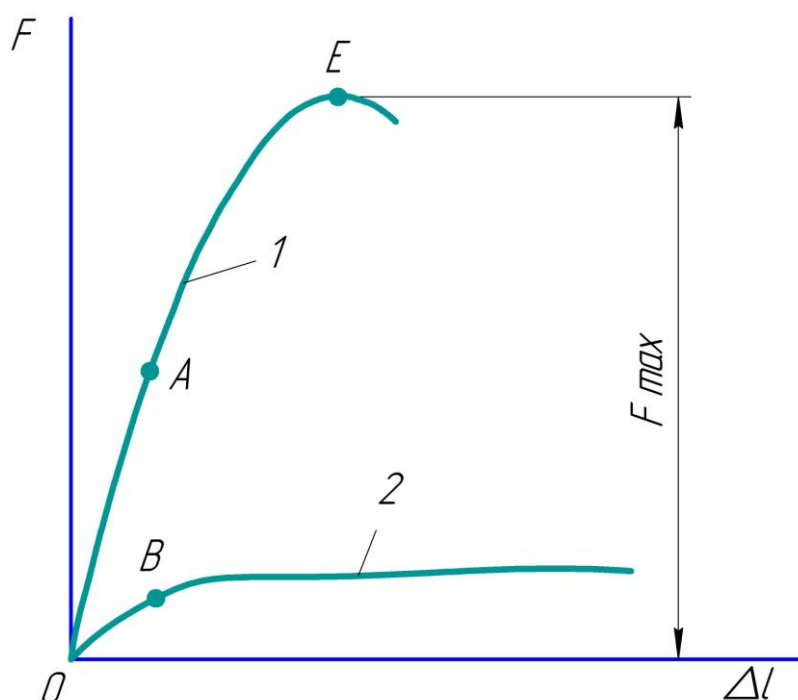


Рис. 24. Диаграмма сжатия древесины вдоль и поперек волокон

Разрушение образца происходит при нагрузке (точка E) пластично в результате потери местной устойчивости стенок ряда волокон древесины, проявляющейся в образовании характерной складки. Оно может также сопровождаться обмятием торцов образца и появлением продольных трещин.

При сжатии образца поперек волокон до небольшой нагрузки (точка B), соответствующей пределу пропорциональности, между нагрузкой и деформацией существует линейная зависимость. Затем деформации быстро увеличиваются, а нагрузка растет незначительно. В результате образец спрессовывается — уплотняется. При наличии в нем пороков (сучки, трещины и др.) он может разрушиться. Разрушающая нагрузка определяется условно. Она соответствует деформации сжатия образца на $1/3$ своей первоначальной высоты.

Как видно из сопоставления диаграмм, изображенных на рис. 24, сопротивление древесины сжатию вдоль волокон значительно больше сопротивления поперек волокон (в 8...10 раз).

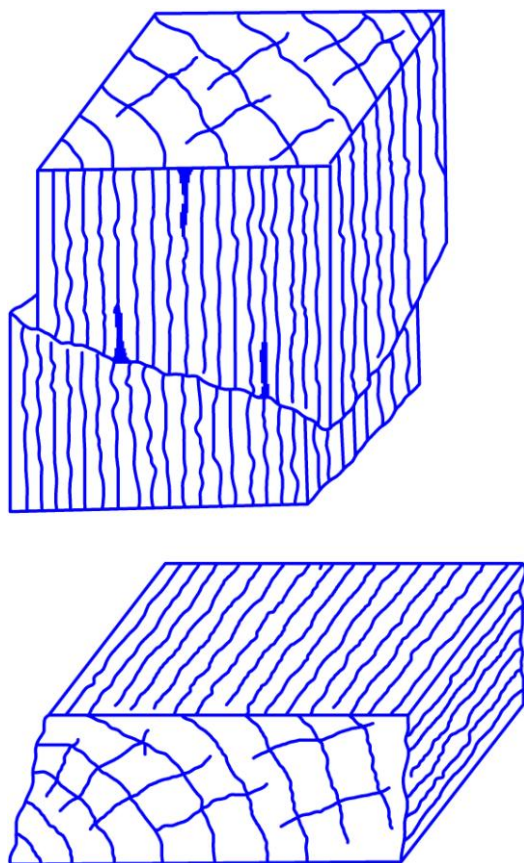


Рис. 24 Схема разрушения древесины при сжатии

Порядок выполнения работы и обработки полученных результатов

Перед испытанием следует измерить размеры испытуемых образцов и отметить поверхности сжатия (рис.25).

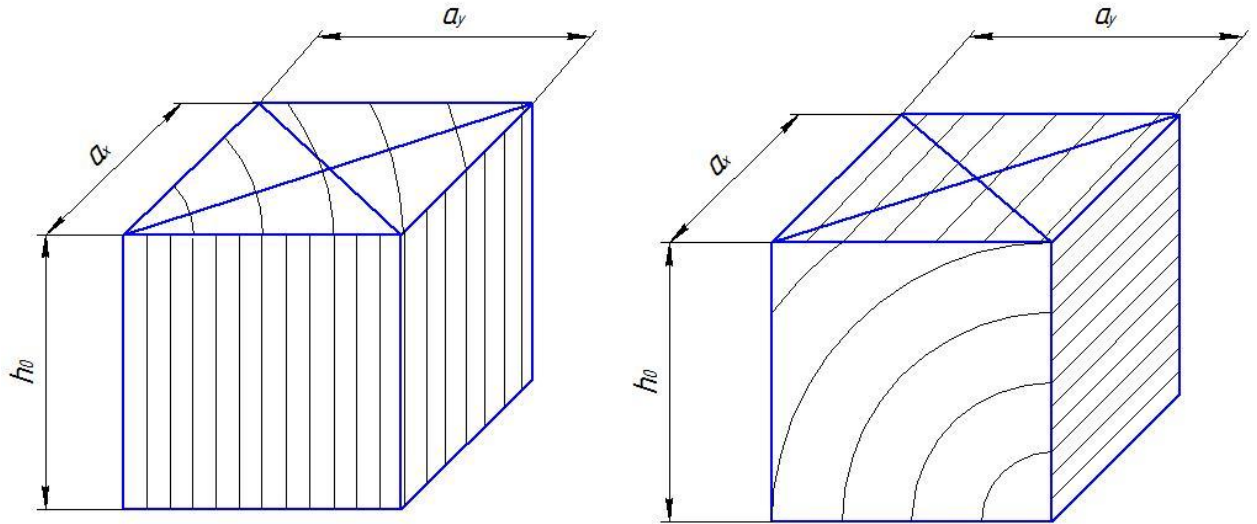


Рис.25. Эскизы образцов древесины для испытаний на сжатие

Схема измерения размеров должна быть следующей.

Измеряем размер h_0 по всем четырем ребрам в направлении оси «z» ($h_{01z}, h_{02z}, h_{03z}, h_{04z}$).

Измеряем размер a_1 по всем четырем ребрам в направлении оси «x» ($a_{11x}, a_{12x}, a_{13x}, a_{14x}$).

Измеряем размер a_2 по всем четырем ребрам в направлении оси «y» ($a_{21y}, a_{22y}, a_{23y}, a_{24y}$).

Результаты измерений сводим в таблицу 1.

Аналогичные измерения выполняем для образца, который будет испытан поперек волокон и заносим в таблицу 2.

Таблица 1 – Результаты измерения образцов из дерева вдоль волокон

Измеряемый размер	Номер измерений				Среднее значение
	1	2	3	4	

$h_0, \text{мм}$					
$a_x, \text{мм}$					
$a_y, \text{мм}$					

Таблица 2 – Результаты измерения образцов дерева поперек волокон

Измеряемый размер	Номер измерений				Среднее значение
	1	2	3	4	
$h_0, \text{мм}$					
$a_x, \text{мм}$					
$a_y, \text{мм}$					

По средним значениям $a_{i\text{ср}}$ вычисляем площадь грани, на которую будет воздействовать сжимающая нагрузка.

$$F_0 = a_{x\text{ср}} \times a_{y\text{ср}} =$$

После указанной предварительной подготовки образцы устанавливают между плитами испытательной машины, по возможности совмещая геометрическую ось машины с геометрической осью образца, чтобы избежать внецентренного сжатия.

Порядок испытания проведен в работе №1.

Определяют характеристики механической прочности древесины.

Для древесины, испытанной вдоль волокон, определяют одну характеристику прочности (предел прочности на сжатие) по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} =$$

Для древесины, испытанной поперек волокон, определяют две характеристики прочности по формулам:

1. Предел пропорциональности

$$\sigma_{\text{III}} = \frac{P_{\text{III}}}{F_0} =$$

2. Предел прочности

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} =$$

Нагрузку P_{nc} определяют так, как это указано в работе 1. Нагрузку P_b определяют на уровне сжатия образца на $1/3$ от первоначальной высоты.

За характеристику пластичности при сжатии принято считать относительное остаточное укорочение, определяемое на уровне напряжений, равных пределу прочности:

$$\delta\% = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% =$$

Все результаты подсчетов свести в таблицу 3.

Для оценки прочности выполненного эксперимента следует сравнить полученные значения с табличным значением, взятым из справочника строителя-проектировщика по формуле (только для дерева вдоль волокон):

$$\Delta\sigma_B = \frac{\sigma_B - \sigma_B^T}{\sigma_B^T} \times 100\% =$$

Полученное значение отклонения позволяет сделать вывод о целесообразности применения деревянных конструкций при различных видах нагружения.