



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Сопротивление материалов»

Сборник задач
по дисциплинам
«Сопротивление
материалов» и «Техническая механика»

**«Испытание на сжатие
образцов из стали, чугуна и
дерева»**

Авторы
Краснобаев И.А.,
Маяцкая И.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по дисциплинам «Сопротивление материалов» и «Техническая механика» для обучающихся по техническим направлениям подготовки (специальностям).

Настоящие методические указания ставят своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального исследования на сжатие различных материалов.

Авторы

к.т.н., профессор кафедры «СМ» Краснобаев И.А.,
к.т.н., доцент кафедры «СМ» Маяцкая И.А.





Оглавление

ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ, ЧУГУНА И ДЕРЕВА	4
1. Цель работы	4
2. Описание испытательного оборудования.....	4
3. Испытываемые образцы.....	8
4. Описание эксперимента.....	10
5. Основные теоретические положения	14
6. Порядок проведения испытаний	19
7. Контрольные вопросы.....	23
8. Основные правила техники безопасности	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	25

ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ, ЧУГУНА И ДЕРЕВА

1. Цель работы

Изучить поведение пластичных и хрупких материалов при испытаниях на сжатие и методику экспериментального определения характеристик прочности при сжатии, приобрести практические навыки по проведению испытаний и расчету параметров прочности.

2. Описание испытательного оборудования

Для испытания используют либо универсальную испытательную машину со специальным устройством для испытаний на сжатие, либо прессы. На рисунке 1 показан пресс для испытаний образцов на сжатие.



Рис.1. Общий вид прессы ИП-500

Для проведения испытаний на сжатие рабочая зона универсальной испытательной машины (рис. 2) оснащается специальным реверсивным устройством, преобразующим конструктивную схему растяжения в схему сжатия образца. На рисунке 3 показана рабочая зона машины при испытаниях на сжатие.



Рис.2. Общий вид испытательной машины при испытаниях на сжатие

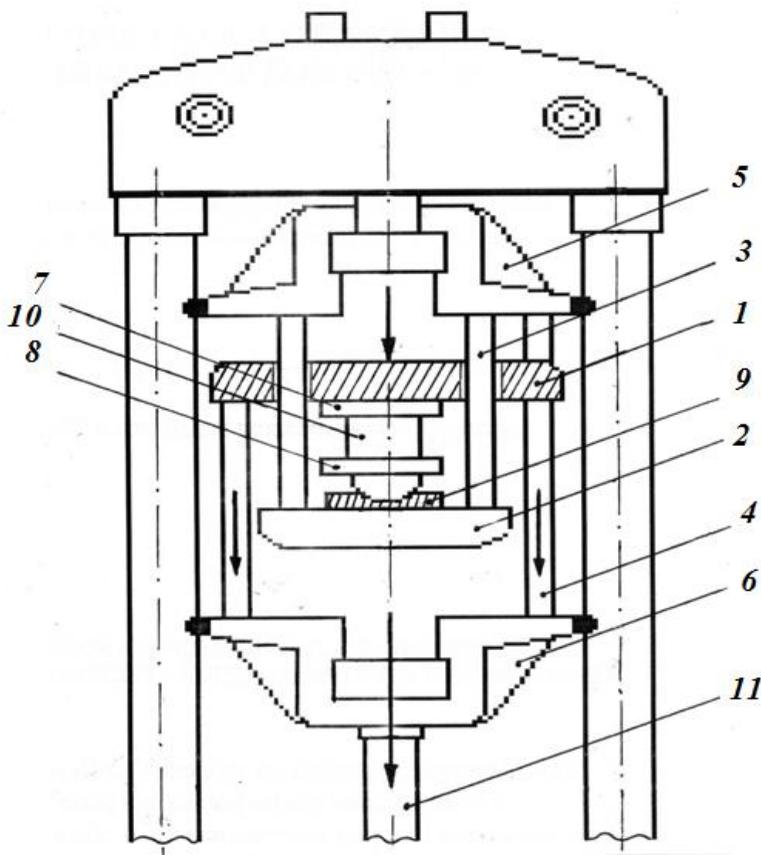


Рис.3. Рабочая зона испытательной машины при испытаниях на сжатие

Устройство состоит из двух траверс 1 и 2, соединенных с помощью штанг 3 и 4 с верхней 5 и нижней 6 головками машины. Между траверсами в рабочем пространстве помещают опорные площадки в виде дисков. К верхней траверсе закрепляется неподвижная площадка 7, на нижнюю траверсу устанавливаются две площадки 8 и 9, сопряженные по шаровой поверхности. Для испытания образец 10 устанавливается между опорными поверхностями площадок. В процессе нагружения ходовой винт 11 машины перемещается вниз, увлекая за собой штанги 4, траверсу 1 и площадку 7. Так как траверса 2 неподвижна, в образце развиваются напряжения сжатия. При этом площадка 8 за счет шаро-

вого сопряжения самоустанавливается в пространстве в соответствии с положением нижней опорной поверхности образца. Таким образом устраняется влияние перекосов (геометрических погрешностей изготовления образцов) на результаты испытаний.

Испытательная машина должна быть снабжена двумя плоскопараллельными площадками, одна из которых самоустанавливающаяся. Скорость сближения площадок должна быть постоянной. Приспособление при испытании на сжатие состоит из нажимной и гибочной балок со специальными устройствами.

Необходимо правильно установить образец по отношению к действующему усилию и равномерно распределить нагрузку по сечению, при этом одна из площадок должна быть самоустанавливающейся. Образец должен находиться на опорной плите испытательной машины так, чтобы продольная ось образца совпала с направлением действия силы (рис. 4). Затем надо выбрать скорость сближения площадок при деформировании образца.

После разрушения образца машину остановить, вынуть разрушенный образец и измерить его высоту. Значение разрушающего напряжения определить по показаниям нагружения (величине максимальной нагрузки) или по диаграмме измерительного устройства.

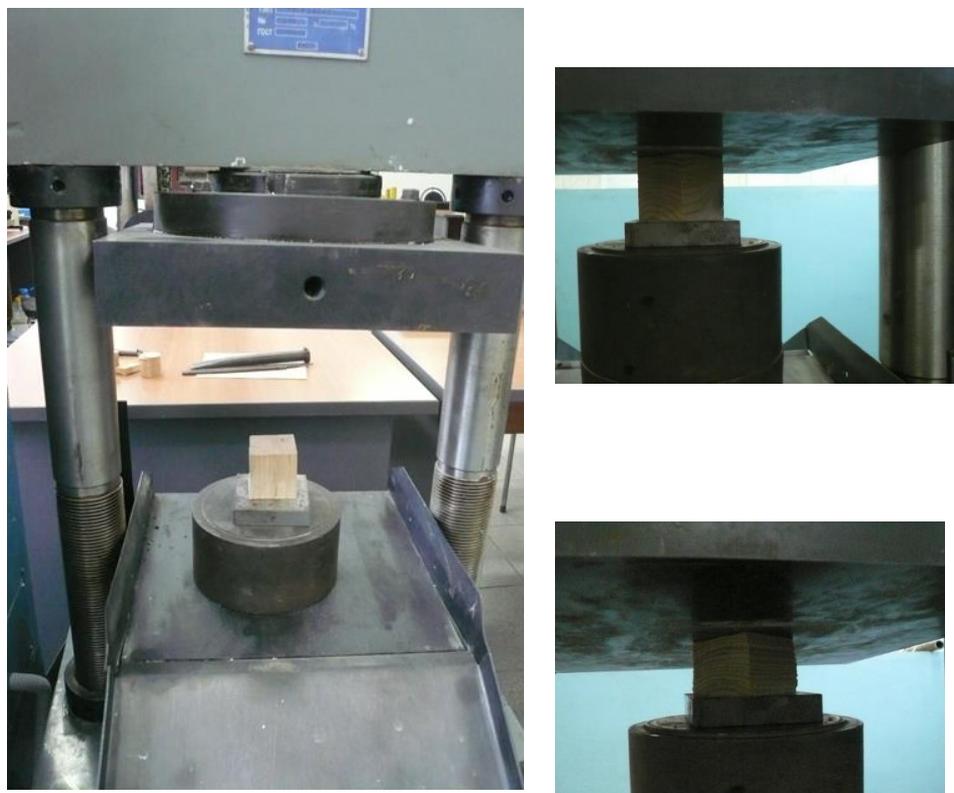


Рис.4. Рабочая зона прессы при испытаниях на сжатие

3. Испытываемые образцы

Для испытаний на сжатие применяют образцы различной формы – цилиндр, параллелепипед с прямоугольным и квадратным основанием и полый цилиндр (рис. 5). Опорные плоскости образца должны быть перпендикулярны направлению приложения нагрузки при сжатии и параллельны между собой.

Высоту образцов h вычисляют в зависимости от отношения к диаметру или стороне: $h=(1, \dots, 3)d$ и $h=(1 \dots 3)b$.

Если сравнивать прочность одного и того же материала при растяжении и сжатии, то зачастую эти показатели не равны даже при одинаковой температуре и скорости деформирования. У разрушающихся материалов прочность при сжатии может быть в

1,5...4,0 раза выше, чем при растяжении.

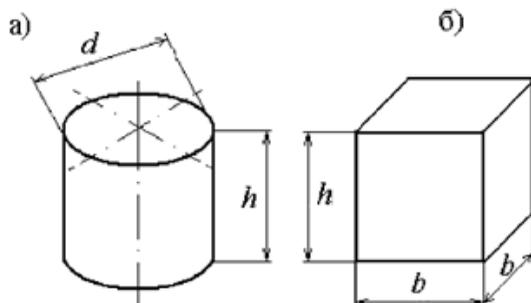


Рис.5. Образцы для испытания на сжатие

На этом рисунке

а – прямой цилиндр; б – прямоугольная призма с квадратным основанием.

Разрушение образцов происходит по-разному, в зависимости от хрупкости или пластичности, изотропности или анизотропности материала. На рис. 6 показаны разрушенные образцы из различных материалов.

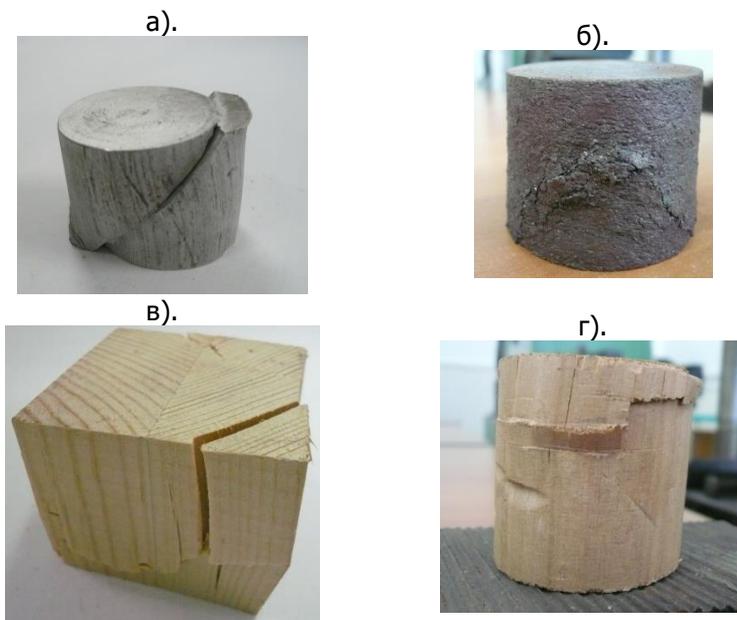


Рис.6. Образцы после испытаний на сжатие
 На этом рисунке
 а – алюминиевый сплав; б – чугун; в, г – дерево.

4. Описание эксперимента

Испытания на сжатие проводят на 50-тонном гидравлическом прессе (рис.1).

Испытуемый образец сжимается между двумя плоскостями. Одна из плоскостей остается неподвижной, а вторая перемещается под действием давления масла в рабочем цилиндре машины. Далее при сжатии увеличивается площадь поперечного сечения образца. Для пластичных материалов (сталь, алюминиевый сплав) цилиндрический или призматический образец принимает бочкообразную форму, а затем расплющивается.

Испытание на сжатие является технологической характеристикой пластичных свойств материала. Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если после деформации образца на заданную по техническим условиям величину не будут обнаружены трещины.

Чугунные образцы изготавливаются цилиндрической формы. При сжатии образец, укорачиваясь, принимает бочкообраз-

ную форму, а затем при наибольшей нагрузке, соответствующей пределу прочности, происходит его разрушение с появлением трещин под углом около 45 градусов к оси образца по одной или нескольким плоскостям.

Наибольшая нагрузка фиксируется на измерительном устройстве пресса. Разрушение образца происходит хрупко при незначительной пластической деформации.

Из чугуна изготавливаются детали, работающие на сжатие, так как чугун имеет сравнительно высокий предел прочности.

Испытание на сжатие стального образца

Образцы для испытаний на сжатие изготавливаются цилиндрической формы из малоуглеродистой стали или формы цилиндров с поперечным сечением, близким к круглому. Высота образцов берется в пределах от одного до трех диаметров. На пульте пресса в результате проведения испытания определяется максимальная разрушающая нагрузка в момент образования бочковидной формы стального образца, который при дальнейшем нагружении расплющивается.



Рис.7. Образцы из стали до (а) и после испытаний(б) на сжатие

Предел текучести для стального образца определяется по формуле:

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0},$$
 F_T – усилие, соответствующее текучести; A_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

Испытание на сжатие чугунного образца

Чугунные образцы изготавливаются цилиндрической формы с таким же соотношением размеров, как и стальные. На рис. 8 показаны чугунные образцы до и после испытания на сжатие.



Рис.8. Образцы из чугуна до (а) и после испытаний(б) на сжатие

Предел прочности для чугунного образца определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{пч}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0}, \quad F_{\text{max}} - \text{наибольшая нагрузка, соответствующая}$$

разрушению образца, появлению трещин; A_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

Испытание на сжатие деревянных образцов

Дерево – материал анизотропный, обладающий различными свойствами в разных направлениях. Поэтому деревянные образцы подвергаются сжатию вдоль и поперек волокон. Для этой цели из древесины изготавливаются образцы кубической формы со стороной 5 см. Образцы не должны иметь трещин, сучков, косослоя.

При испытании образцов вдоль волокон разрушение происходит при незначительной пластической деформации. Разрушение образца происходит при максимальной нагрузке F_{max} по одной или нескольким наклонным плоскостям (рис. 9).

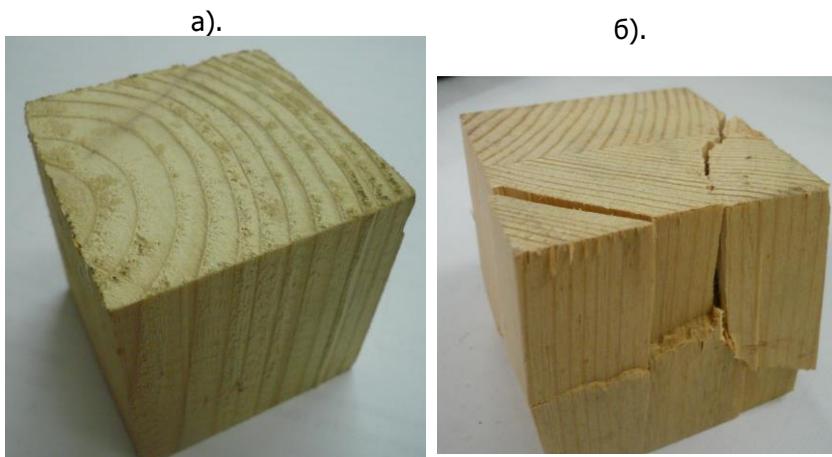


Рис.9. Образцы из дерева до (а) и после испытаний(б) на сжатие вдоль волокон

Предел прочности для деревянного образца при испытании вдоль волокон определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{пч}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0}, \quad F_{\text{max}} - \text{наибольшая нагрузка, соответствующая}$$

разрушению образца, появлению трещин; A_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

При испытании образцов поперек волокон поведение образца существенно изменяется: происходит прессование древесины (рис. 10). Разрушающая нагрузка определяется условно при уменьшении высоты образца на одну треть.



Рис.10. Образцы из дерева до (а) и после испытаний (б) на сжатие поперек волокон

Предел прочности для деревянного образца при испытании поперек волокон определяется по формуле: $\sigma_{\text{пч}} = \frac{F_{\text{max усл}}}{A_0}$,

$F_{\text{max усл}}$ – наибольшая нагрузка, соответствующая разрушению образца, появлению трещин; A_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

Прочность древесины вдоль волокон примерно в 10 раз выше прочности древесины поперек волокон.

5. Основные теоретические положения

Испытания на сжатие имеют свои особенности, отличные от особенностей испытаний на растяжение:

- в процессе испытания пластичные материалы могут сжиматься, не разрушаясь и не дробясь на части, а сплющиваются; хрупкие разрушаются, появляются трещины.

- деформационные и прочностные характеристики образца существенно зависят от отношения его высоты к размерам в плоскости, перпендикулярной направлению действия сжимающей нагрузки;

- на результаты испытаний значительно влияют условия трения торцевых поверхностей образца о площадки нагружающего устройства испытательной машины. Процесс трения наблюдается в результате деформирования торцевых поверхностей при

деформировании образца.

На рис. 11 представлены диаграммы «напряжение – деформация» ($\sigma - \epsilon$) при сжатии хрупких и пластичных материалов.

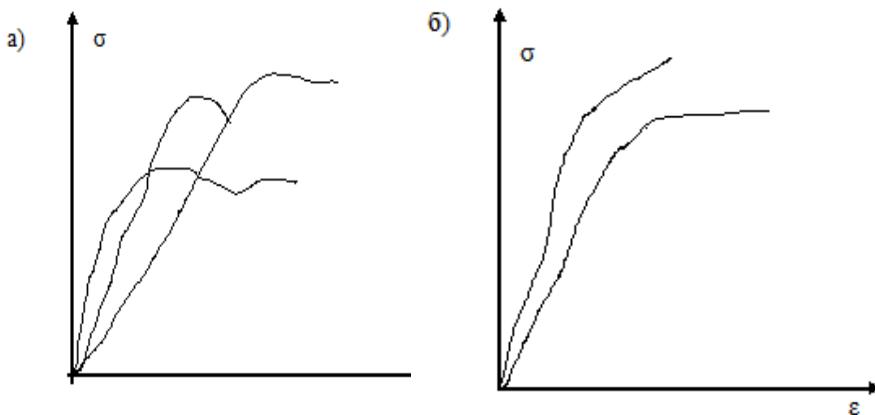


Рис.11. Диаграммы сжатия различных образцов

На этом рисунке

а – хрупкое разрушение; б – пластическое деформирование.

Испытание на сжатие основано на нагружении испытуемого образца сжимающей возрастающей нагрузкой при установленной скорости деформирования и при этом определяют разрушающее напряжение $\sigma_{ср}$, которое вычисляют как отношение нагрузки $F_{ср}$, вызывающей разрушение образца или появление трещин, к площади A_0 начального поперечного сечения образца.

Испытание материалов на сжатие основано на деформировании образца в осевом направлении в условиях постоянной заранее установленной скорости. При этом определяют графическую зависимость нагрузки F от абсолютной деформации образца Δh . Анализируя эти кривые вначале определяют их вид, затем их параметры и наконец, рассчитывают значения механических показателей материала при сжатии.

На рис. 12 представлена характерная машинная диаграмма сжатия пластичного материала.

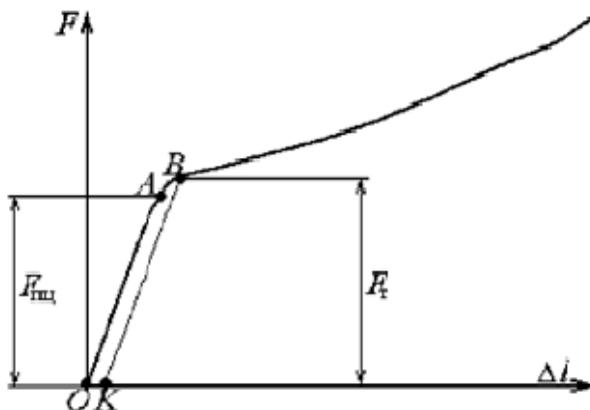


Рис.12. Диаграмма сжатия стального образца

На начальном участке OA наблюдается прямо пропорциональная зависимость между абсолютным укорочением Δl и силой F , т.е. соблюдается закон Гука. Потом линия диаграммы искривляется и переходит в участок с небольшим наклоном к горизонтали - участок текучести. Обычно при сжатии явно выраженная площадка текучести отсутствует.

Образец из пластичного материала при сжатии укорачивается, а поперечные размеры его увеличиваются, особенно в средней части (рис. 13).



Рис.13. Деформирование стального образца

По торцам образца поперечные деформации затруднены из-за наличия сил трения в местах соприкосновения с плитами испытательной машины, поэтому при сжатии цилиндр приобретает форму бочонка (рис. 13). При дальнейшем нагружении образец продолжает деформироваться, превращаясь в диск, но разрушить его не удастся, поэтому наибольшую силу F_{\max} установить нельзя. Таким образом, при сжатии пластичного материала, в отличие от растяжения, нельзя определить временное сопротивление $\sigma_{пч}$. Пределы текучести при растяжении и сжатии одного и того же пластичного материала практически не отличаются.

По диаграмме сжатия пластичного материала определяют силу $F_{пц}$, т.е. наибольшую силу, до которой справедлив закон Гука, и силу F_T , соответствующую условному пределу текучести. Таким образом, для пластичного материала при сжатии определяют только две характеристики прочности:

- предел пропорциональности $\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0$;
- предел текучести $\sigma_T = F_T / A_0$,

где A_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

На рисунке 14 показана диаграмма сжатия хрупкого материала. До некоторой точки A наблюдается почти прямо пропорциональная зависимость между силой сопротивления образца и деформацией, т.е. можно считать, что на участке OA справедлив закон Гука. Затем рост силы сопротивления образца замедляется и после достижения максимума она резко падает и образец разрушается.

На рис. 15 показан характерный вид хрупкого разрушения чугунного образца при сжатии. Разрушение происходит по сечению, наклоненному примерно под углом 45° к оси образца.

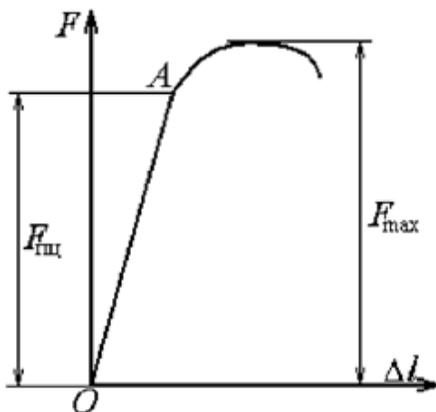


Рис.14. Диаграмма сжатия образца из хрупкого материала

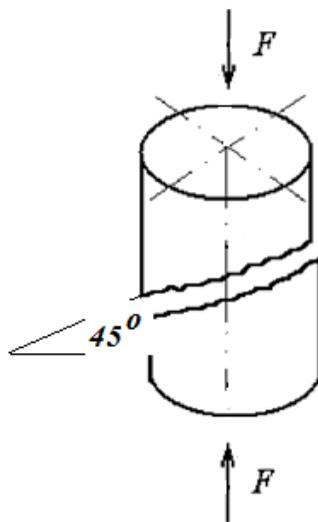


Рис.15. Разрушение образца из чугуна

Под этим углом при сжатии возникают наибольшие касательные напряжения, которые и являются причиной разрушения. При сжатии очень хрупких материалов, таких как керамика, при достижении силы F_{\max} намечаются сдвиги под углом 45° по разным направлениям, и образец разрушается на множество частей. Следует отметить, что большинство хрупких материалов существенно лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению.

По диаграмме сжатия хрупкого материала определяют две характерные силы: силу, до которой соблюдается закон Гука ($F_{\text{пц}}$), и наибольшую силу, которую может выдержать материал (F_{\max}). По этим силам, отнесенным к начальной площади поперечного сечения образца A_0 , определяют характеристики прочности хрупкого материала при сжатии, т.е. предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = F_{\text{пц}} / A_0$ и временное сопротивление $\sigma_{\text{пч}} = F_{\text{пч}} / A_0$.

На рис. 16 показана диаграмма сжатия древесины вдоль волокон. В отличие от однородных хрупких материалов при сжатии древесины разрушение образца происходит как бы «постепенно», т.е. по мере разрушения отдельных, наиболее нагруженных элементов строения древесины. Поэтому участок диаграммы после достижения F_{\max} сравнительно протяженный.

Для древесины при сжатии вдоль волокон определяют предел пропорциональности $\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0$ и временное сопротивление $\sigma_{пч} = F_{пч} / A_0$.

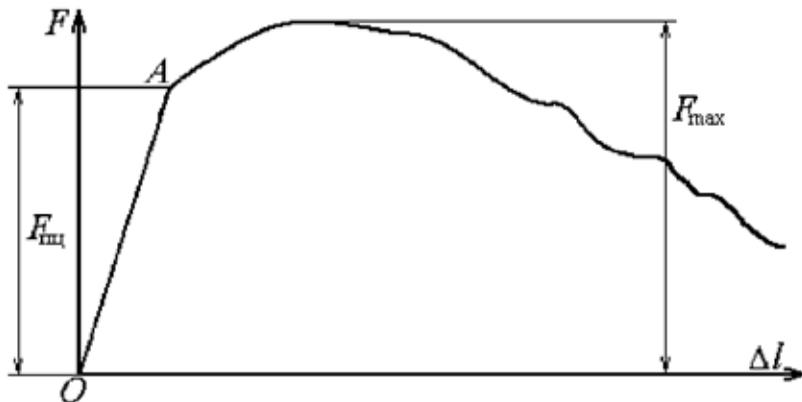


Рис.16. Диаграмма сжатия образца из дерева

Как и при растяжении, при сжатии для пластичных материалов в качестве предельного (опасного) напряжения принимают предел текучести $\sigma_0 = \sigma_T$, а для хрупких материалов временное сопротивление $\sigma_0 = \sigma_{пч}$. Для древесины в качестве опасного напряжения принимают временное сопротивление $\sigma_0 = \sigma_{пч}$.

6. Порядок проведения испытаний

Исходные данные:

При помощи штангенциркуля измеряют диаметр d_0 и высоту h_0 металлических образцов. Для деревянного образца измеряют размер поперечного сечения b и высоту b . Замеры производят с точностью до 0,1 мм.

Вычисляют площадь поперечного сечения образцов: для цилиндрических образцов $A_0 = \pi d_0^2 / 4$; для призматического образца $A_0 = b \cdot b$.

Записывается материал образца.

Методика проведения эксперимента:

Изучается конструкция и работа гидравлического пресса, на котором проводятся испытания.

После этого приступают к последовательному сжатию образца до их разрушения.

Образец устанавливают на нижнюю опорную плиту машины. Используя перемещение нижней опоры, необходимо, чтобы образец соприкоснулся с верхней опорной плитой (рис. 17).



Рис.17. Схема установки образца

Испытания проводятся с помощью измерительного пульта (рис. 18).



Рис.18. Система измерительная СИ-2-500

Порядок работы при проведении испытаний образцов на сжатие:

<p>Нужно включить кнопку запуска насоса.</p>	
<p>Включить выбранный диапазон скорости нагружения</p>	

<p>Установить ручку в положение «НАГРУЖЕНИЕ»</p>	
<p>Вращая по часовой стрелке ручку подачи масла, установить необходимую скорость нагружения</p>	
<p>После разрушения образца установить ручку в положение «СБРОС»</p>	
<p>Нажать кнопку «ПУСК-МАКС» и снять показания максимальной разрушающей нагрузки</p>	

<p>После завершения испытаний кнопкой «СТОП» отключить блок измерений от сети</p>	

После проведения испытаний студент должен дать сравнительный анализ поведения при сжатии пластичных и хрупких материалов, а также показать отличительные особенности разрушения древесины.

Составление отчета. Отчет должен содержать:

- 1) цель эксперимента;
- 2) эскизы образцов до и после испытания;
- 3) расчет характеристик прочности испытанных материалов;
- 4) описание характера разрушения каждого материала;
- 5) протокол испытаний для каждого испытанного материала.

7. Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какую форму имеют образцы для испытания на сжатие. Какова их относительная высота.
3. Перечислите механические характеристики пластичного материала, получаемые при испытаниях на сжатие.
4. Перечислите механические характеристики хрупкого материала, получаемые при испытаниях на сжатие.
5. Начертите диаграмму сжатия образца пластичного материала, обозначьте и укажите название характерных усилий.

6. Какую механическую характеристику пластичного материала невозможно получить при испытании на сжатие
7. Начертите машинную диаграмму сжатия образца хрупкого материала, обозначьте и укажите название характерных усилий
8. Какие характерные особенности имеет разрушение образцов хрупких материалов при сжатии
9. Какие характерные особенности имеет разрушение образцов слоистых материалов при сжатии
10. Какую форму приобретает образец пластичного материала при сжатии.

8. Основные правила техники безопасности

1. Нельзя допускать к испытательной установке лиц, не ознакомившихся с ее устройством.
2. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие испытательную установку без разрешения преподавателя.
3. Лабораторную работу нужно выполнять в соответствии с выше приведенной инструкцией.
4. При перерывах в работе испытательная установка не должна находиться в рабочем состоянии.
5. Во время проведения лабораторной работы запрещается трогать образец руками.
6. Необходимо находиться от испытательной установки на расстоянии не менее 0,5м.
7. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

/Образец/

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

«Испытание на сжатие образцов из стали, чугуна и дерева»

Дата проведения работы _____

Наименование машины – машина для испытаний на сжатие
ИП-500 (пресс).

Общий вид:





Журнал испытаний

Опыт №__ «Испытание на сжатие образцов из _____»

Характеристика испытываемых образцов:

- материал испытываемых образцов – _____ ;
- размеры поперечного сечения образца:
- площадь поперечного сечения образца:

Фото испытываемых образцов до и после разрушения:

--	--

Обработка данных испытаний:

Вычисляем по соответствующей формуле прочностные характеристики

Сравнительный анализ: _____

_____ .

_____ .

_____ .

ВЫПОЛНИЛ

Студент группы _____

_____ (Фамилия И.О.)

ПРОВЕРИЛ

Преподаватель _____

_____ (Фамилия И.О.)