

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Е. В. Пояркова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА СЖАТИЕ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург
2019

УДК 620.10
ББК 30.121
П 67

Рецензент – профессор, доктор технических наук В. М. Кушнарченко

П 67 **Пояркова, Е. В.**

Определение механических характеристик различных материалов при испытаниях на сжатие: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 20 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Сопротивление материалов» обучающимися по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (профиль – Автомобильная техника в транспортных технологиях).

УДК 620.10
ББК 30.121

© Пояркова Е. В., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа «Определение механических характеристик различных материалов при испытаниях на сжатие».....	7
1.1 Теоретические предпосылки испытаний материалов на сжатие	7
1.2 Понятие о хрупкости и пластичности материалов	8
1.3 Методика испытаний	9
1.4 Выполнение эксперимента и обработка результатов испытаний	14
2 Вопросы для самоконтроля	17
3 Список рекомендованных источников.....	19

Введение

При расчетах на прочность, жесткость и устойчивость элементов машин и различной автомобильной техники необходимо знать механические характеристики различных конструкционных материалов; при этом результаты расчетов тесно сочетаются с результатами экспериментальных исследований. По этой причине в учебной дисциплине «Сопротивление материалов» большое внимание уделяется лабораторным работам, которые выполняются параллельно с прохождением теоретического курса.

Настоящие методические указания предназначены как руководство при выполнении лабораторной работы «Определение механических характеристик различных материалов при испытаниях на сжатие» обучающимся по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (профиль – Автомобильная техника в транспортных технологиях).

Цель настоящих методических указаний сводится к формированию у обучающихся представлений о месте и роли стандартных механических испытаний различных материалов в прочностной оценке конструкций транспортно-технологических средств и приобретению студентами навыков обработки результатов механических испытаний материалов.

Априори, лекционный материал, выданный обучающимся во время аудиторных занятий, закладывает основы знаний по предмету в обобщенной форме, а лабораторные занятия направлены на расширение и детализацию этих знаний, на выработку и закрепление навыков профессиональной деятельности. Подготовка к лабораторному занятию предполагает предварительную самостоятельную работу студентов в соответствии с данной методической разработкой.

Лабораторная работа позволит интегрировать теоретические знания и сформировать некоторые практические умения и навыки студентов в процессе их учебной деятельности. При этом предполагается:

- закрепление теоретического материала путем контроля за самостоятельной работой студентов;
- формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторной работы;
- развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторной работы;
- формирование навыков оформления результатов лабораторных испытаний в виде таблиц, графиков, иллюстраций, соответствующих выводов.

Лабораторная работа выполняется в соответствии с методическими указаниями и оформляется по требованиям СТО 02069024.101–2015 РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления. Данный локальный нормативный документ доступен для ознакомления и скачивания на сайте Оренбургского государственного университета по ссылке http://www.osu.ru/docs/official/standart/standart_101-2015.pdf.

Обучающиеся должны усвоить, что отчетность по лабораторным работам ведется в строгом соответствии с определенными требованиями, что контролируется ведущим преподавателем. Таким образом, у обучающихся формируются первоначальные умения ведения научной документации и представления отчетной информации.

В процессе защиты лабораторной работы выявляется информационная компетентность в соответствии с заданием; затем преподавателем дается комплексная оценка деятельности студента.

Также следует помнить, что приступать к выполнению лабораторной работы запрещается до получения инструктажа от преподавателя и росписи в журнале по технике безопасности.

Во время выполнения эксперимента обучающиеся неуклонно должны соблюдать основные правила безопасности при работе в лаборатории:

- перед выполнением лабораторной работы проверить наличие заземления испытательной машины;

– перед проведением экспериментальной части работы дополнительно проверить правильность сборки, установки и закрепления необходимых лабораторных приспособлений и устройств;

– категорически запрещается самостоятельно (без соответствующего разрешения и/или в отсутствие преподавателя или заведующего лабораторией) включать и/или выключать испытательную машину (равно как и другие лабораторные установки, приборы);

– в случае серии испытаний перед каждым включением испытательной машины убедиться, что ее пуск никому не угрожает опасностью;

– перед испытанием материалов особое внимание следует обращать на чистоту изготовления образцов, параллельность торцов и перпендикулярность их к оси образца; при испытании образец необходимо располагать соосно к испытательной машине и внимательно следить за увеличением нагрузки, не допуская перегрузки машины;

– при испытании на сжатие запрещается находиться ближе полутора метров от машины, так как при разрушении образцов возможен разлёт фрагментов образцов или осколков.

1 Лабораторная работа «Определение механических характеристик различных материалов при испытаниях на сжатие»

Цель работы – изучение опытных зависимостей между сжимающей силой и деформацией образцов из различных материалов, определение основных механических (прочностных и пластических) характеристик материалов, полученных при испытаниях на сжатие.

1.1 Теоретические предпосылки испытаний материалов на сжатие

Как известно, для хрупких материалов с низким значением сопротивления разрыву испытание на растяжение почти не сопровождается пластической деформацией и не дает характеристик пластичности.

Результаты испытаний искажают также перекосы (незначительные неправильности в установке образца), так как в хрупком, малопластичном образце они могут вызвать неправильное и неравномерное распределение напряжений по сечению и привести к разрушению при средних нагрузках на образец, значительно более низких, чем предполагалось.

Испытание на сжатие является наиболее простым из таких видов механических испытаний. По схеме напряженного состояния оно подходит к большинству процессов обработки металлов давлением, где преобладают сжимающие напряжения.

При сжатии силы, деформирующие образец, направлены вдоль его оси навстречу друг другу.

Внутренние силы упругости при сжатии распределяются по сечению равномерно, так как металл во всех точках поперечного сечения испытывает одинаковую деформацию. Для сжатия применим закон Гука.

Испытание на сжатие черных и цветных металлов и сплавов при температуре 20 °С регламентируется ГОСТ 25.503-97 [1]. 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;
- физический предел текучести;
- предел прочности.

Указанные величины механических характеристик могут быть использованы в случаях:

- выбора металлов, сплавов и при 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.

1.2 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 конструкционных материалов, обладающих свойством хрупкости, величина удлинения при разрыве не превышает значения от 2 до 5 %.

Однако хрупкость и пластичность являются относительными характеристиками, так как зависят от способа обработки материала, вида напряженного состояния, температуры и скорости нагружения.

Например, 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 даются 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.

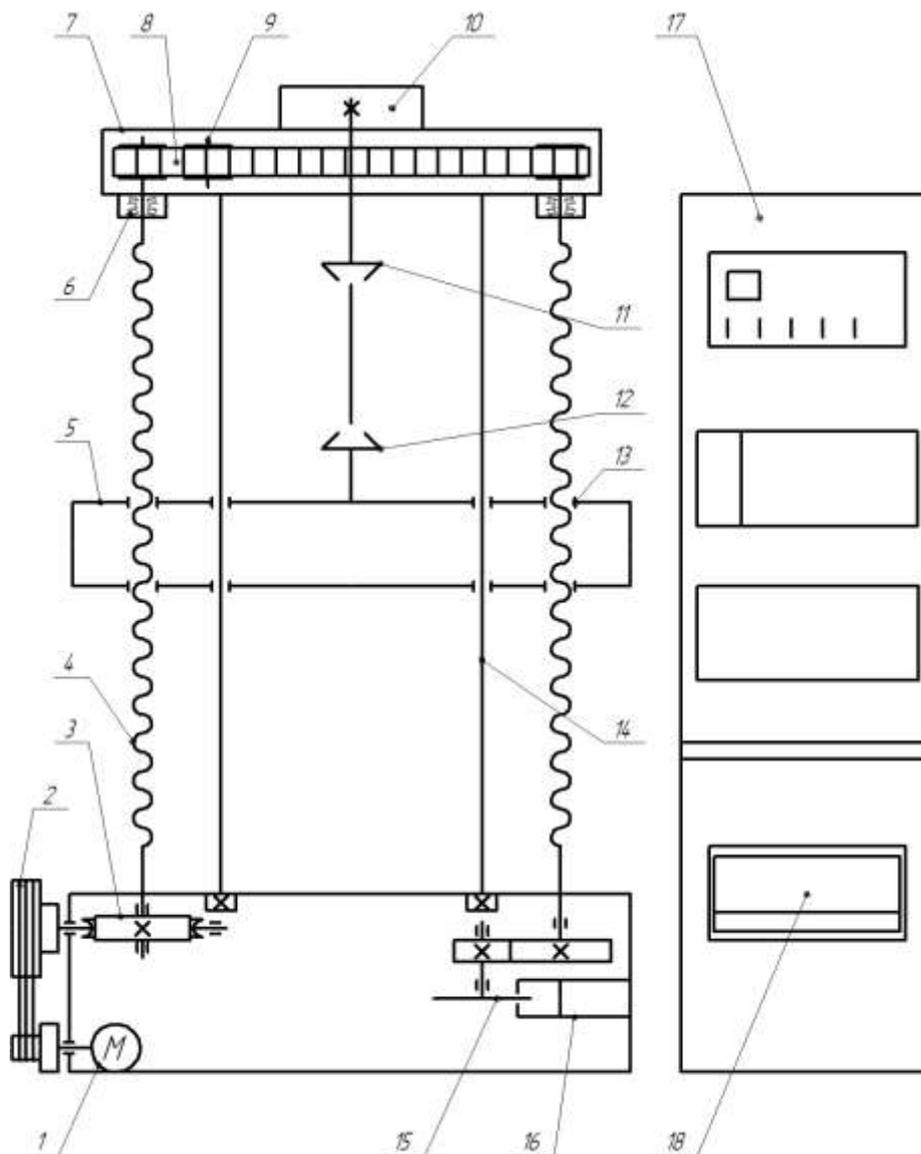
Для изучения свойств материалов, используемых при производстве конструкций и элементов различной автомобильной техники, и определения их основных механических характеристик проводятся испытания образцов из этих материалов не только на растяжение, но и на сжатие. Однако испытания на сжатие проводятся реже, чем на растяжение, ввиду того, что при сжатии нельзя получить все механические характеристики материалов. Так пластичный материал при сжатии не разрушается, а превращается в диск, что не позволяет определить напряжение, соответствующее разрушающей силе. Также нельзя определить параметры, аналогичные характеристикам пластичности. Поэтому испытанию на сжатие подвергают в основном хрупкие материалы.

Испытание материалов на сжатие проводится аналогично испытанию на растяжение. Так же как и при испытании на растяжение из испытуемого материала изготавливаются образцы, которые сжимают на испытательной машине до разрушения. При этом также вычерчивается диаграмма сжатия.

1.3 Методика испытаний

Испытание на сжатие проводятся на универсальных испытательных машинах (например, Р-10, УММ-5 или УММ-50) или специальных прессах.

В данной лабораторной работе испытания различных материалов выполняются на универсальной разрывной машине, кинематическая схема которой представлена на рисунке 1.1.



- 1 – электродвигатель; 2 – передача клиноременная; 3 – редуктор червячный;
 4 – винт ходовой; 5 – траверса подвижная; 6 – узел подшипниковый;
 7 – траверса неподвижная; 8 – ремень зубчатый; 9 – ролик натяжной;
 10 – датчик силы; 11 – захват пассивный; 12 – захват активный; 13 – гайка
 ходовая; 14 – колонна; 15 – диск зубчатый; 16 – датчик хода траверсы;
 17 – электронный шкаф управления; 18 – планшетный самописец.

Рисунок 1.1 – Кинематическая схема разрывной машины [2]

Образцы материалов изготавливаются в виде цилиндров с соотношением размеров $h_0 = (\text{от } 1 \text{ до } 2) \cdot d_0$ (например, для чугуна d_0 в пределах от 10 до 25 мм) (рисунок 1.2). Образец закладывается между плитами испытательной машины и постепенно нагружается непрерывно возрастающей нагрузкой. При этом планшетный самописец машины вычерчивает диаграмму сжатия (рисунок 1.3).

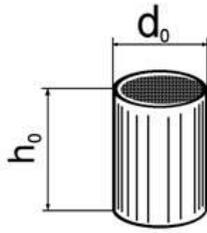


Рисунок 1.2 – Схематичное изображение цилиндрического образца на сжатие

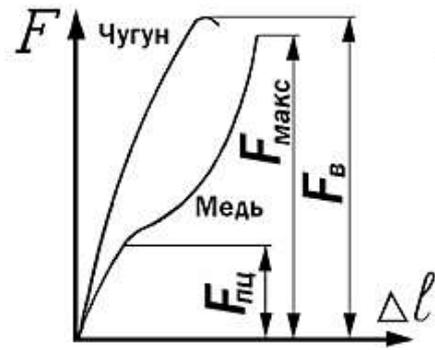


Рисунок 1.3 – Диаграммы сжатия различных материалов

Результаты испытаний на сжатие зависят от условий проведения эксперимента. Практически очень трудно добиться приложения сжимающей силы точно по оси образца. Поэтому образец будет не только сжиматься, но и изгибаться. Чем длиннее образец, тем больше влияние изгиба. Для уменьшения влияния изгиба рекомендуется применять образцы, длина которых не более чем в два раза превышает их поперечные размеры. Применение слишком коротких образцов тоже нежелательно. При сжатии образца продольные размеры уменьшаются, а поперечные увеличиваются (по закону Пуассона).

Для пластичного материала (медь или низкоуглеродистая сталь) диаграмма сжатия (рисунок 1.3) до предела текучести совпадает с диаграммой растяжения, однако ярко выраженной площадки текучести не наблюдается. После прохождения стадии текучести происходит быстрое возрастание деформаций, а увеличивающееся поперечное сечение образца становится способным выдержать все большую нагрузку. Образец принимает бочкообразную форму из-за наличия сил трения на торцах (рисунок 1.4) и может быть сплюснен в тонкую пластинку без признаков разрушения, иногда даже без образования трещин. Поэтому в процессе испытания обычно определяют только предел пропорциональности $\sigma_{пц}$:

$$\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0,$$

где $F_{\text{пц}}$ – нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности (наибольшему напряжению, до которого справедлив закон Гука);

A_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца.

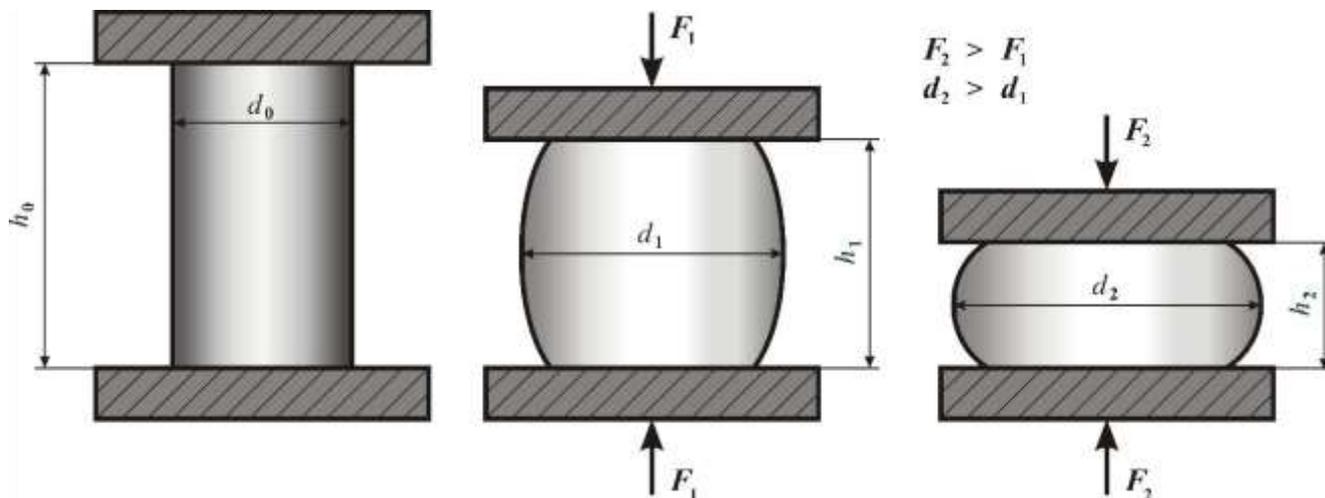


Рисунок 1.4 – Стадии деформирования цилиндрического образца из пластичного материала при сжатии

Для пластичных материалов модуль упругости E , предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$ и предел текучести $\sigma_{\text{т}}$ при сжатии примерно те же, что и при растяжении. Предел прочности при сжатии нельзя определить практически, так как образец не разрушается; тогда его принимают равным пределу прочности при растяжении этого материала или в некоторых случаях рассчитывают как отношение максимальной нагрузки F_{max} , определяемой по диаграмме сжатия пластичного материала, напрямую зависящей от возможностей испытательной машины, к первоначальной площади поперечного сечения испытуемого образца A_0 :

$$\sigma_{\text{max}} = F_{\text{max}} / A_0.$$

Характеристики, аналогичные относительному удлинению и относительному сужению при разрыве, при испытании на сжатие также получить весьма затруднительно, но возможно.

Если первоначально растянуть пластичный материал до значений нагрузки, превышающей его предел текучести, а потом, разгрузив, сжать его, то при этом будет наблюдаться понижение величины предела текучести. Такое явление, называемое *эффектом Баушингера*, связано с анизотропным упрочнением материала, то есть упрочнением, зависящим от направления нагружения.

Хрупкие материалы (как правило, чугун или высокопрочная сталь) лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению и поэтому они применяются для изготовления элементов транспортных конструкций и/или изделий технологических автомобильных средств, работающих на сжатие. В связи с этим (для их расчета на прочность) необходимо знать механические характеристики, получаемые при данном виде испытаний.

Для чугуна на диаграмме сжатия (рисунок 1.3) практически отсутствует прямолинейный участок, то есть *закон Гука* выполняется лишь приближенно в начальной стадии нагружения. Разрушение при испытании такого материала происходит внезапно при максимальной нагрузке с появлением ряда наклонных трещин, расположенных приблизительно под углом 45° к образующим боковой поверхности образца, по линиям действия максимальных касательных напряжений (рисунок 1.5). Это *линии Чернова-Людерса*. Причины появления этих линий, представляющих собой следы выхода на поверхность образца пластических сдвигов, те же, что и при растяжении.

Предел прочности хрупкого материала при сжатии σ_B определяется по зависимости:

$$\sigma_B = F_B / A_0,$$

где F_B – нагрузка, соответствующая временному сопротивлению материала до разрушения при сжатии;

A_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца.

Предел прочности чугуна на сжатие превышает предел прочности на растяжение в 4-5 раз и предел прочности на изгиб в 2 раза.

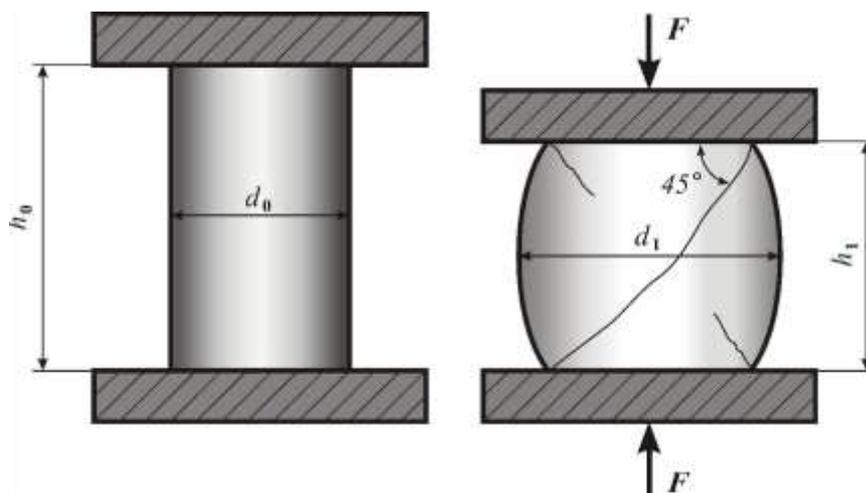


Рисунок 1.5 – Поведение образца из хрупкого материала при сжатии

Следует заметить, что характер деформации и разрушения образца зависят от сил трения между торцами образца и опорными плитами испытательной машины. Путем периодической парафинной или графитовой смазки торцов можно устранить силы трения; при этом чугунный образец в течении всего испытания остается цилиндрическим и разрушается по плоскостям, параллельным диаметральной плоскости из-за недопустимо больших растягивающих деформаций.

При расчете конструкций необходимо учитывать особенности сопротивления растяжению и сжатию пластичных и хрупких материалов.

1.4 Выполнение эксперимента и обработка результатов испытаний

Ознакомьтесь с устройством испытательной машины и ее принципиальной схемой действия. Записать тип машины, цену деления шкалы силоизмерительного устройства, масштаб построения диаграммы по нагрузке и по деформации.

Перед испытанием необходимо измерить высоту h_0 и диаметр d_0 образцов из меди (стали) и чугуна с точностью до 0,1 мм.

Подсчитать площади поперечных сечений образцов. Полученные данные занести в отчет.

После этого один из образцов устанавливается между плитами испытательной машины и производится сжатие. Для исключения изгиба образца один из захватов должен иметь шаровую опору.

Далее следует (при соблюдении техники безопасности) включить испытательную машину (пресс) и наблюдать за процессом сжатия образца (получение прямолинейного участка диаграммы, площадки текучести, области упрочнения, образование трещин и разрушения образца).

По окончании испытания (после разрушения образца) выключить испытательную машину (пресс), вынуть из захватов образец, провести анализ его разрушения, выполнить замер его геометрических параметров (высоты, размера поперечного сечения).

Вычерчиваются эскизы разрушения образцов.

Фиксируются графически результаты испытаний образцов (диаграммы). Начало отсчета и масштабы диаграмм сжатия материалов определяются аналогично испытаниям на растяжение.

Для меди (стали) подсчитывается значение предела пропорциональности $\sigma_{пц}$ и наибольшее напряжение σ_{max} по ранее изложенной методике.

Для чугуна подсчитывается величина его предела прочности $\sigma_{в.}$

Необходимые для расчетов нагрузки (соответствующие силы) находятся по диаграммам сжатия по методике, применяемой аналогично при испытаниях на растяжение.

Полученные в результате испытания материала данные, снятые с диаграмм, построенных самописцем в осях F и Δl , и результаты их обработки необходимо занести в таблицу 1.1. Обязательно в заключение работы следует сделать выводы по работе.

В отчете по выполнению лабораторной работы необходимо также зафиксировать внешний вид диаграмм сжатия различных материалов, полученных в результате испытания образцов в координатных осях, представленных на рисунке 1.6.

F_1 Δl

Рисунок 1.6 – Вид диаграмм сжатия различных материалов

Таблица 1.1

Координаты точки на диаграмме	Марка меди (стали)	Марка чугуна
Сила в кН, соответствующая пределу пропорциональности $F_{пц} =$		
Сила в кН, соответствующая пределу текучести $F_T =$		
Сила в кН, соответствующая разрушению образца $F_{max} =$		
Абсолютная деформация в м, соответствующая пределу пропорциональности $\Delta l_{пц} =$		
Абсолютная деформация в м, соответствующая разрушению образца $\Delta l_{разруш} =$		

Выводы из полученных результатов опыта сводятся к определению качества испытанного материала по найденным из опыта его механическим характеристикам. Пользуясь справочными таблицами и стандартами, можно с достаточной точностью установить в каких транспортных конструкциях, исследуемые в данной лабораторной работе материалы, могут найти применение.

2 Вопросы для самоконтроля

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, любой анизотропный материал). Поясните все стадии процесса деформирования.
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° ?
13. Какому усилию соответствует в лабораторной работе высшая точка диаграммы сжатия для образца из чугуна?

12. Почему для чугуна закон Гука может быть применен только приближенно?

13. Почему диаграммы сжатия образцов из чугуна и древесины не имеют площадки текучести?

14. Что появляется на поверхности чугунного образца в момент его разрушения?

15. С какого места на диаграмме начинается образование трещин на образце из чугуна?

3 Список рекомендованных источников

1. ГОСТ 25.503-97 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. – Введ. 01.07.99. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 24 с.

2. Лабораторный практикум по прикладной механике / В.М. Кушнарченко [и др.]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. деталей машин и приклад. механики. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 148 с. : ил. – Библиогр.: с. 132. – Прил.: с. 133-148. – ISBN 978-5-91854-073-2.

3. Чеботарев, Е.А. Сопротивление материалов=STRENGTH OF MATERIALS : учебное пособие на английском языке / Е.А. Чеботарев, Х.Р. Сугаров ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2017. – 205 с. – Библиогр.: с. 200. ; То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483715>.

4. Пояркова, Е.В. Механика материалов (методы механических испытаний материалов) [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Пояркова, В.И. Грызунов, И.Р. Кузеев. – Москва : Флинта. – 2015. – ISBN 978-5-9765-2481-1. – 228 с – Загл. с тит. экрана. <https://e.lanbook.com/book/72683#authors>

5. Калеева, Ж.Г. Обработка результатов механических испытаний материалов методом линейного регрессионного анализа [Электронный ресурс] : методические указания / Ж.Г. Калеева, Е.В. Пояркова, С.Н. Горелов. – 2-е изд. – Москва : Флинта. – 2015. – ISBN 978-5-9765-2482-8. – 46 с – Загл. с тит. экрана. https://e.lanbook.com/book/72680#book_name

6. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов : учебное пособие для студентов технических специальностей / Р.В. Ромашов [и др.]; под ред. Р.В. Ромашова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство

по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 123 с. : ил. – ISBN 978-5-7410-0949-9.

7. Быков, С.Ю. Испытания материалов : учеб. пособие для вузов / С.Ю. Быков, С.А. Схиртладзе . – М. : ТНТ, 2009. – 136 с. – Библиогр.: с. 135. – ISBN 978-5-94178-213-0.

8. Бобылев, А.В. Механические и технологические свойства металлов : справочник / А.В. Бобылев. – М. : Metallurgia, 1980. – 296 с. : ил.

9. Золоторевский, В.С. Механические испытания и свойства металлов: учеб. пособие для вузов / В.С. Золоторевский; под ред. И.И. Новикова. – М. : Metallurgia, 1974. – 304 с. : ил. – Библиогр.: с. 303.

10. Пояркова, Е.В. Диагностика повреждений металлических материалов и конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Пояркова, С.Н. Горелов. – 2-е изд. – Москва : Флинта. – 2015. – 202 с. – Загл. с тит. экрана.

11. Пояркова, Е.В. Сопротивление материалов для транспортных направлений подготовки [Электронный ресурс] : электронный курс в системе Moodle / Е.В. Пояркова; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ОГУ. – 2019. – 11 с. – Режим доступа: https://ufer.osu.ru/index.php?option=com_uferdbsearch&view=uferdbsearch&action=details&ufer_id=1749 – Загл. с тит. экрана.