

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 МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАСТЯЖЕНИЕ

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 материалов при испытаниях на растяжение: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 19 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 материалов при испытаниях на растяжение».....	7
1.1 Теоретические предпосылки испытаний материалов на растяжение	7
1.2 Методика испытаний	9
1.3 Результаты эксперимента	15
2 Вопросы для самоконтроля	16
3 Список рекомендованных источников.....	18

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 материалов при испытаниях на растяжение» обучающимися 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 перед проведением лабораторной работы все обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности, а во время выполнения эксперимента неуклонно 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.

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

Цель работы – определение основных механических (прочностных и пластических) характеристик материалов, полученных при испытаниях на растяжение.

1.1 Теоретические предпосылки испытаний материалов на растяжение

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 на растяжение. *Основными прочностными механическими характеристиками материалов*, получаемыми при испытаниях такого рода, и используемыми впоследствии в прочностных расчетах конструкций, являются предел текучести и предел прочности материалов.

Предел текучести материала – напряжение, при котором возрастают деформации без увеличения нагрузки (при этом возникает площадка текучести на диаграмме), получаемое как частное от деления нагрузки, соответствующей площадке текучести F_T , при испытании на первоначальную площадь сечения образца A_0 :

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}, \quad (1.1)$$

где F_T – значение силы, соответствующей пределу текучести материала, определяемой по диаграмме растяжения (рисунок 1.1), Н;

A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Для материалов, не имеющих площадки текучести при испытании на растяжение, определяется *условный предел текучести* $\sigma_{0,2}$, соответствующий напряжению в образце при 0,2 % относительной остаточной деформации.

Предел прочности материала – напряжение, получаемое как частное от деления максимальной нагрузки F_B , выдерживаемой образцом до разрушения (значение силы определяется, по представленной на рисунке 1.1, диаграмме растяжения, Н) при испытании на первоначальную площадь сечения образца A_0 , мм²:

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_0}. \quad (1.2)$$

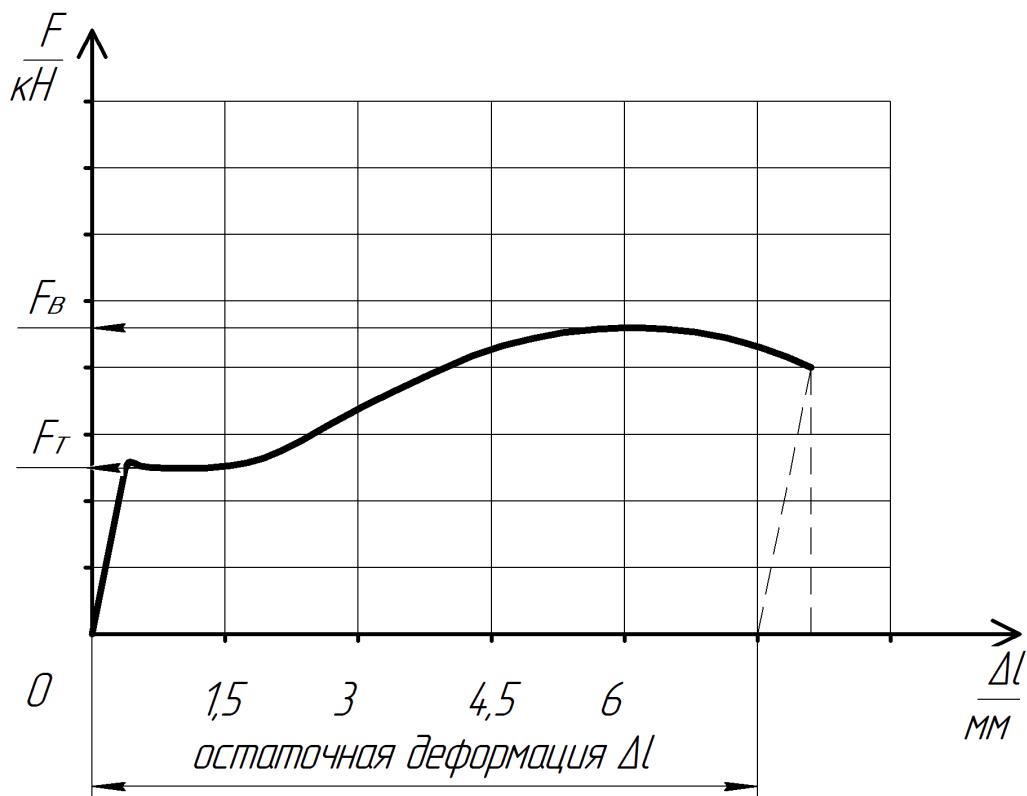


Рисунок 1.1 – Диаграмма растяжения пластичного материала (данные испытания: материал – сталь 20; диаметр образца – 6 мм, максимальная нагрузка – $F_B = 13,01$ кН)

Основными механическими характеристиками пластичности материалов являются следующие два параметра:

– относительное остаточное сужение ψ после разрыва:

$$\psi = \frac{A_o - A_k}{A_o} \cdot 100 \% ; \quad (1.3)$$

– относительное остаточное удлинение δ после разрыва:

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} \cdot 100 \% ; \quad (1.4)$$

где A_o – начальная площадь поперечного сечения образца, мм²;

A_k – конечная минимальная площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, мм²;

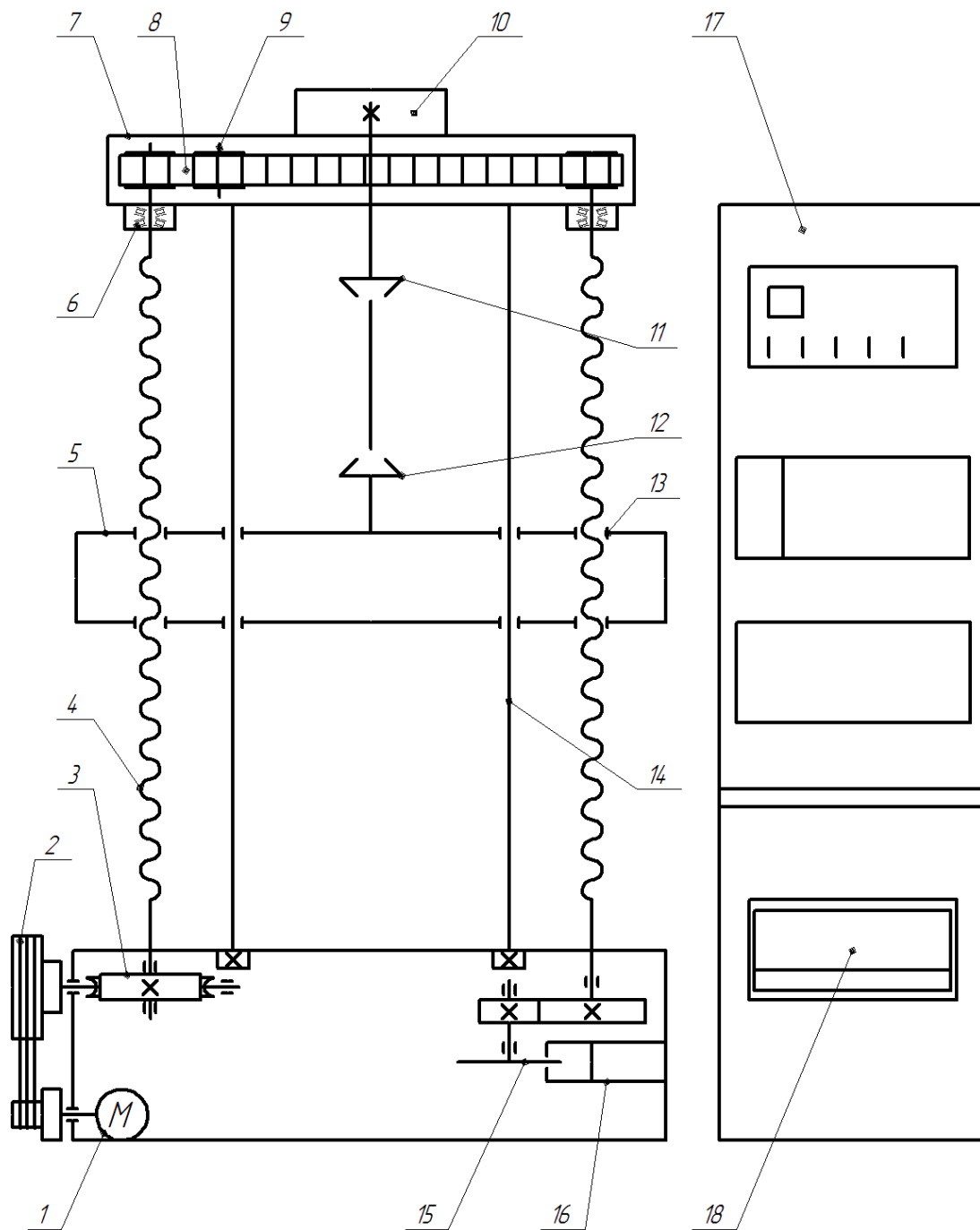
l_o и l_k – соответственно начальная и конечная (определяемая составлением воедино половинок разрушенного образца после испытания) длины рабочей части образца, мм.

1.2 Методика испытаний

Работа выполняется на разрывной машине, кинематическая схема которой представлена на рисунке 1.2, испытанием стандартных образцов, выполненных по ГОСТ 1497-84 [1], диаметром $d_0 = 6$ мм (рисунок 1.3, а) на растяжение.

Перед испытанием и после него рабочую длину образцов необходимо измерить с помощью штангенциркуля с точностью не ниже 0,1 мм, а диаметр – с точностью не ниже 0,05 мм.

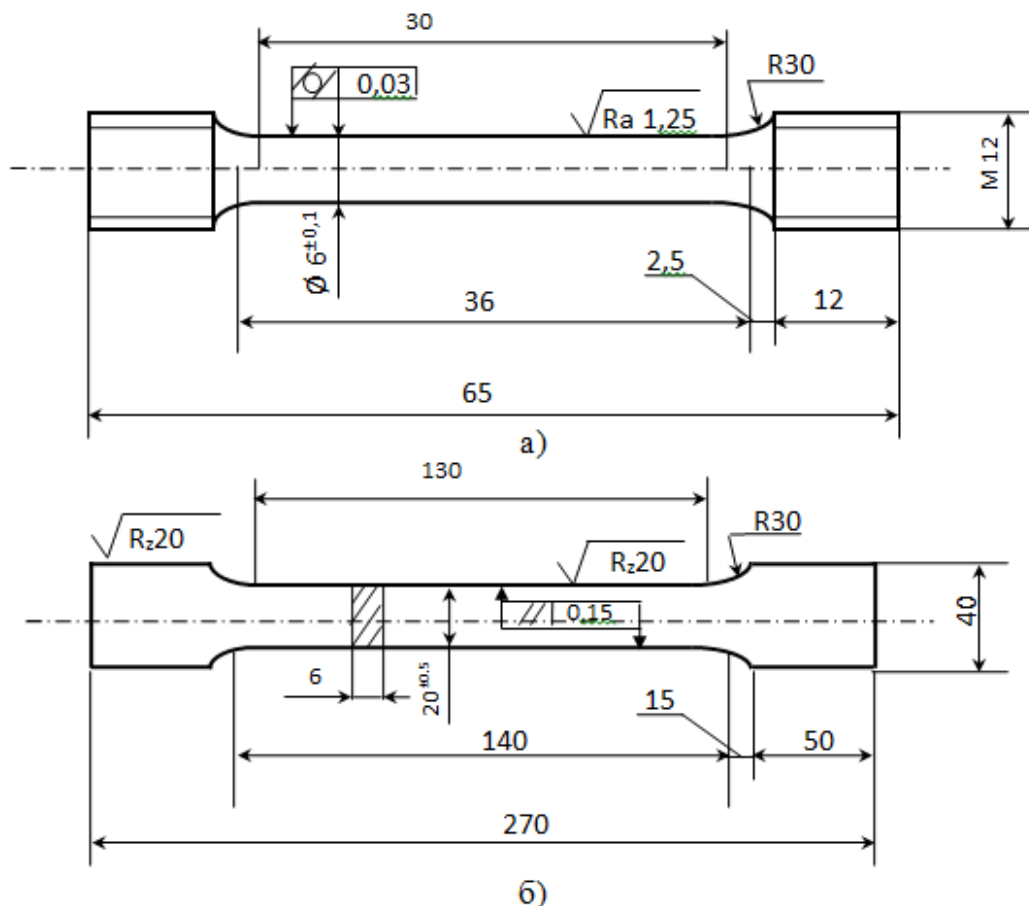
Перед испытанием на двухкоординатный самописец закрепляется лист бумаги. Образец (рисунок 1.3, а) устанавливается в захваты машины и растягивается до разрушения.



- 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 1.2 – Кинематическая схема разрывной машины [6]

По данным табло (индикатора) машины необходимо в процессе испытания зафиксировать максимальную нагрузку F_B и внести данные в журнал испытаний.



- а) цилиндрический образец для растяжения;
 б) плоский образец для растяжения.

Рисунок 1.3 – Образцы для испытаний по ГОСТ 1497-84 [1]

Полученную диаграмму растяжения $F = f(\Delta l)$ («усилие – удлинение») (рисунок 1.1) следует перестроить в диаграмму условных напряжений $\sigma = f(\varepsilon)$ («напряжение – относительная деформация») (рисунок 1.4) по причине того, что подобная диаграмма растяжения характеризует не только свойства материала, но и размеры образца. Для этого из точки разрушения следует провести штриховую линию параллельно участку пропорциональности (прямой

линейной зависимости на диаграмме) до оси абсцисс. Расстояние от начала координат до этой точки есть остаточная деформация $\Delta l = l_k - l_0$. Максимальная относительная деформация при испытании будет в данной точке $\varepsilon_{max} = \Delta l / l_0$.

Разделив расстояние от начала координат до этой точки в миллиметрах на ε_{max} , можно получить масштаб оси абсцисс (миллиметров в относительной единице). Необходимо нанести масштаб на горизонтальную ось диаграммы условных напряжений с шагом 0,05 относительных единиц.

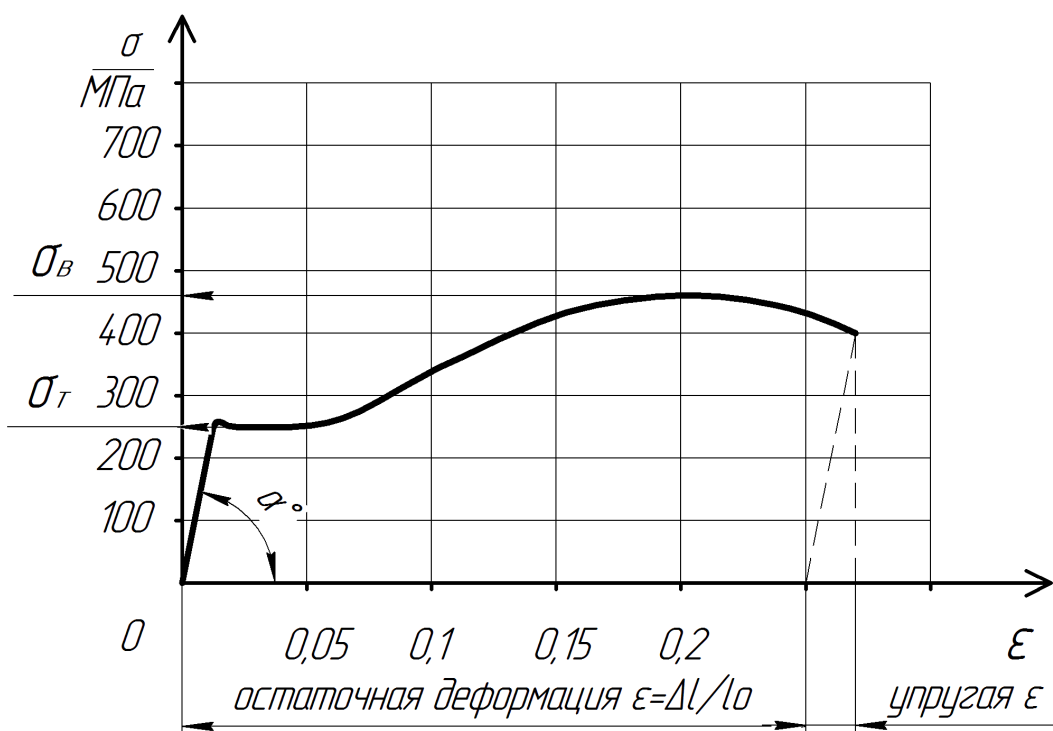


Рисунок 1.4 – Диаграмма условных напряжений пластичного материала (данные испытания: материал – сталь 20; предел прочности $\sigma_B = 460$ МПа; предел текучести $\sigma_T = 250$ МПа; относительное удлинение $\delta = 25$ %)

Из самой высокой точки диаграммы до оси ординат (эта точка – максимальная нагрузка F_B) нужно провести линию параллельную оси абсцисс.

Максимальную нагрузку следует разделить на начальную площадь поперечного сечения образца, получив при этом значение предела прочности материала σ_B .

Делением расстояния от начала координат до этой точки (в миллиметрах) на предел прочности получается масштаб оси ординат (миллиметров в мегапаскалях). Следует наносить масштаб на ось с шагом 100 МПа.

По диаграмме условных напряжений (рисунок 1.4) необходимо установить также и предел текучести материала F_T . Для определения предела текучести F_T от площадки текучести до оси ординат следует провести линию, параллельную оси абсцисс. Значение напряжения (в МПа) в этой точке и есть предел текучести σ_T .

Для малопластичных материалов при определении условного предела текучести $F_{0,2}$ (рисунок 1.5) на оси абсцисс следует отметить значение $\varepsilon = 0,002$.

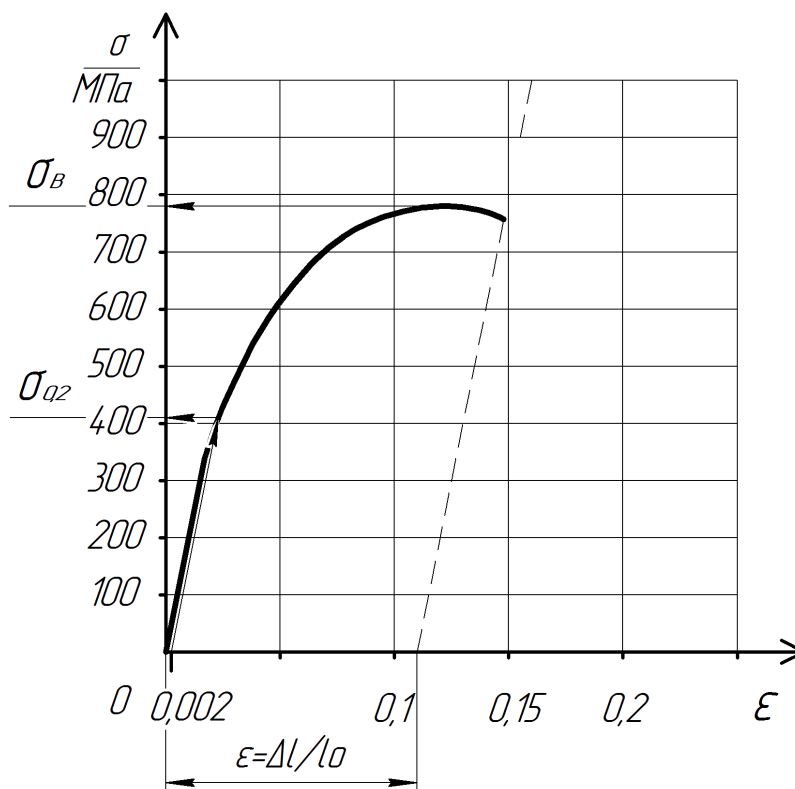


Рисунок 1.5 – Диаграмма условных напряжений низкопластичного материала (данные испытания: материал – сталь 60, предел прочности $\sigma_B = 780$ МПа; предел текучести $\sigma_T = 410$ МПа; относительное удлинение $\delta = 12$ %)

Из этой точки нужно провести линию, параллельную участку пропорциональности, до пересечения с диаграммой. От этой точки до оси

ординат необходимо провести линию, параллельную оси абсцисс. Значение напряжения в МПа в этой точке и есть условный предел текучести $\sigma_{0,2}$.

По начальному участку диаграммы условных напряжений (участку упругости), где для большинства материалов справедлив закон Гука (рисунки 1.1, 1.4, 1.5) следует найти модуль продольной упругости E (более точное название – модуль упругости первого рода или модуль Юнга).

E – модуль упругости первого рода – коэффициент пропорциональности между нормальным напряжением и линейной деформацией непосредственно рабочей части испытуемого образца в пределах упругости:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ или } E = \sigma / \varepsilon. \quad (1.5)$$

Для определения модуля упругости по диаграммам условных напряжений (рисунки 1.4, 1.5) на участке пропорциональности (начальном, прямолинейном участке) берется точка, и напряжение для этой точки делится на относительную деформацию, соответствующую этой точке. В связи с тем, что при записи диаграммы фиксируется вся деформация, включая и упругую деформацию самой разрывной машины, полученное значение необходимо умножить на K_{II} – коэффициент податливости конкретной разрывной машины. Для машины ИР 5057-50 коэффициент податливости приблизительно равен $K_{II} \approx 10$. Таким образом, модуль упругости пропорционален тангенсу угла наклона α начального, прямолинейного участка диаграммы условных напряжений $E = \operatorname{tg} \alpha \times K_{II}$. Полученное расчетное значение модуля упругости следует сравнить с табличным (таблица 1.1).

Таблица 1.1

Модуль упругости E , МПа	Материал				
	Сталь	Алюминий	Медь	Чугун	Стекло-пластики
	$(2 \div 2,2) \cdot 10^5$	$0,675 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$(0,75 \div 1,6) \cdot 10^5$	$(0,18 \div 0,4) \cdot 10^5$

1.3 Результаты эксперимента

Полученные в результате испытания материала данные и результаты их обработки необходимо занести в таблицу 1.2. Обязательно в заключение работы следует сделать выводы по работе.

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 марку стали и в соответствии с этим решить, в каких конструкциях материал может найти применение.

Таблица 1.2

Материал образца	Размеры рабочей части образца						Нагрузка, Н		Механические характеристики				
	До испытаний			После испытаний			F_B	$F_T,$ $F_{0,2}$	$\sigma_B,$ МПа	$\sigma_T,$ $\sigma_{0,2},$ МПа	$\Psi,$ %	$\delta,$ %	$E,$ МПа
	$d_o,$ мм	$l_o,$ мм	$A_o,$ мм ²	$d_k,$ мм	$l_k,$ мм	$A_k,$ мм ²							

В отчете по выполнению лабораторной работы необходимо также зафиксировать внешний вид диаграммы растяжения, полученной в результате испытания образца в координатных осях, представленных на рисунке 1.6.

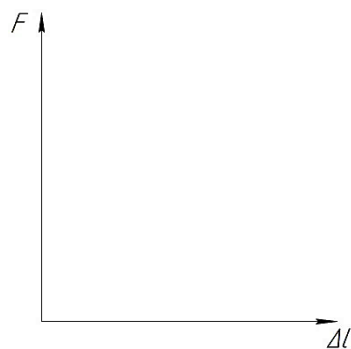
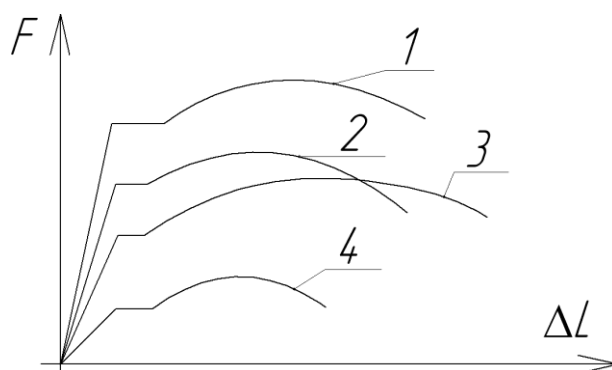


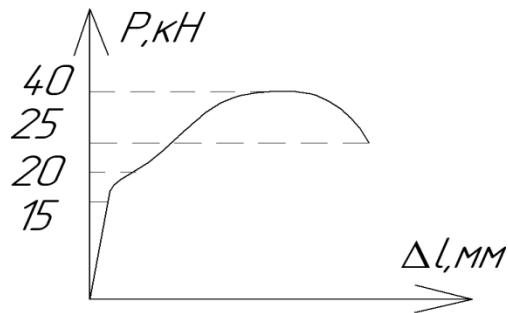
Рисунок 1.6 – Вид диаграммы растяжения

2 Вопросы для самоконтроля

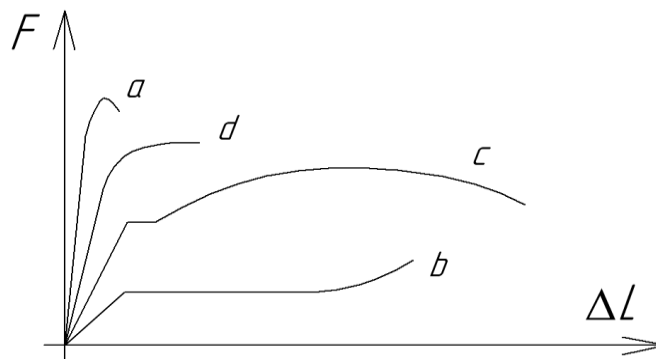
1. Что характеризует диаграмма растяжения материала?
2. Что характеризует диаграмма условных напряжений?
3. Какие характеристики материала определяют из диаграммы условных напряжений?
4. Что характеризует модуль упругости материала и как его можно определить из диаграммы условных напряжений?
5. Назовите предельные пластические характеристики материала.
6. На каком участке диаграммы растяжения материал подчиняется закону Гука?
7. Как графически определить модуль продольной упругости E ?
8. По какой величине относительного остаточного удлинения определяют условный предел текучести?
9. Чем отличаются друг от друга диаграммы растяжения хрупких и пластичных материалов?
10. Как определяют условный предел текучести по диаграмме растяжения хрупких материалов?
11. Нарисуйте диаграмму растяжения и поясните по ней все стадии деформации.
12. Какие деформации называются упругими, какие остаточными?
13. На рисунке показаны диаграммы растяжения четырех образцов из различных пластичных материалов. Под каким номером диаграммы материал образца обладает наибольшей пластичностью? Почему?



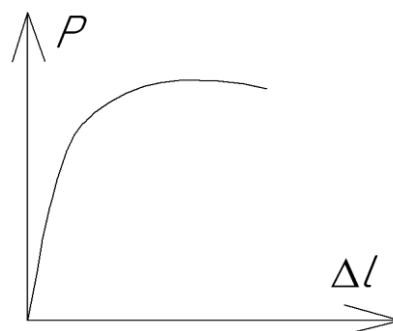
14. В результате испытания цилиндрического образца с площадью поперечного сечения 100 мм^2 была получена диаграмма, представленная на рисунке. Чему равен предел прочности испытываемого материала?



15. Каким буквенным символом (латиницей) обозначена диаграмма растяжения малоуглеродистой стали? Обоснуйте свой выбор.



16. Какому материалу (по уровню пластичности) соответствует, представленная на рисунке, условная диаграмма растяжения? Аргументируйте свой ответ.



17. До какой точки диаграммы растяжения образец деформируется равномерно?

18. Какие механические характеристики определяют пластические свойства материала? Дайте формулировки этих характеристик.

3 Список рекомендованных источников

1. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – Введ. 01.01.86. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.

2. 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>.

3. 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>

4. 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

5. 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.

6. 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.

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. Установление связи между структурой, конструктивной прочностью и эксплуатационной надежностью сварных элементов конструкций [Электронный ресурс] : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ / Е.В. Пояркова, С.Ю. Шамаев; правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". – № 2014617927 заявл. 08.08.2014, зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 02.10.2014. – 2014. – 1 с.

12. 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.