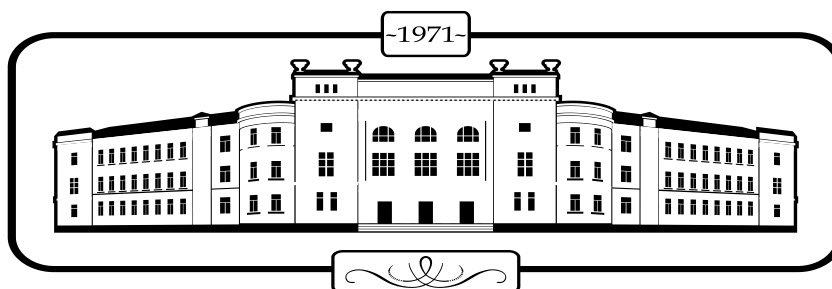


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительной механики

Кутрунова З.С.



Техническая механика.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ
«ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ.
РАСТЯЖЕНИЕ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА С
ИЗМЕРЕНИЕМ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ»**

для студентов направления 280700.62 «Строительство»
всех форм обучения

Тюмень, 2014

УДК: 620.1
К-95

Кутрунова, З.С. Техническая механика. Методические указания к лабораторной работе «Испытание материалов. Растяжение стального образца с измерением упругих деформаций» для студентов направления 280700.62 «Строительство» всех форм обучения /З.С.Кутрунова. - Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2014. – 19 с.

Методические указания к лабораторной работе составлены на основании требований Федерального Государственного образовательного стандарта по направлению «Строительство» и способствуют развитию умений использовать современные программы, методики, приборы и оборудование.

Процесс выполнения лабораторной работы «Испытание на сжатие деревянных образцов» способствует развитию у студентов профессиональных компетенций:

ПК-2 – способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечение для их решения соответствующего физико-математического аппарата;

ПК-5 – владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией.

Рецензент: Соколов В.Г.
Тираж: 50 экз.

© ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»

© Кутрунова З.С.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»

СОДЕРЖАНИЕ

1 Цели работы.....	4
2 Описание работы.....	4
3 Испытательная машина и измерительные инструменты.....	6
4 Экстензометр.....	8
5 Подготовка и проведение испытания.....	9
6 Анализ диаграммы растяжения.....	10
6.1 Характеристики прочности материала.....	12
6.2 Характеристики пластичности материала.....	13
6.3 Характеристики статической вязкости материала.....	14
7 Отчет.....	16
Таблица 1. Эскизы образца до и после испытания.....	16
Таблица 2. Размеры образца до и после испытания.....	16
Таблица 3. Результаты испытания.....	17
8 Контрольные вопросы.....	18
Библиографический список.....	19

1 ЦЕЛИ РАБОТЫ

Цели опыта – ознакомление с принципами работы разрывной испытательной машины INSTRON и экстензометра INSTRON. Проверка закона Гука при растяжении, определение модуля упругости стали и её механических характеристик.

Для проверки закона Гука и определения модуля упругости материала необходимо измерение упругих деформаций при растяжении его в пределах пропорциональности.

С другой стороны, для определения механических характеристик и, в частности, относительных остаточных деформаций, являющихся мерой пластичности материала, необходимо довести образец до разрыва.

2 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Испытание на растяжение является наиболее распространенным видом исследования материалов, так как при нем наиболее ярко выявляются характеристики прочности и пластичности материалов.

ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» устанавливает методы статических испытаний на растяжение черных и цветных металлов и изделий из них для определения следующих механических характеристик материалов:

предел пропорциональности – $\sigma_{пц}$,

предел упругости – σ_y ,

предел текучести физический – σ_T ,

предел текучести условный – σ_T^y ,

временное сопротивление – σ_σ ,

относительное удлинение после разрыва – δ ,

относительное сужение поперечного

сечения после разрыва – ψ .

Для большинства материалов в пределах упругого деформирования до предела пропорциональности между напряжениями и деформациями имеет место прямо пропорциональная зависимость, которая была установлена Робертом Гуком.¹

В условиях осевого растяжения, когда только по двум граням выделенного из объёма материала элемента действуют нормальные напряжения (рисунок 1),

¹ Роберт Гук (18.07.1635 - 03.03.1703) - английский физик и механик, который впервые экспериментально установил существование линейной зависимости между нагрузкой и удлинением.

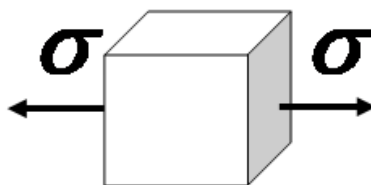


Рисунок 1

наблюдается его линейное деформирование - продольное удлинение и изменение размеров его поперечного сечения. При этом нормальное напряжение прямо пропорционально относительной продольной деформации:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (1)$$

Данная зависимость получила название закона Гука при растяжении-сжатии. Коэффициент E называется модулем упругости или модулем Юнга.² Модуль упругости характеризует жесткость материала и имеет размерность напряжения - паскаль (Па).

Для испытания будем применять стальной образец круглого поперечного сечения, рисунок 2.

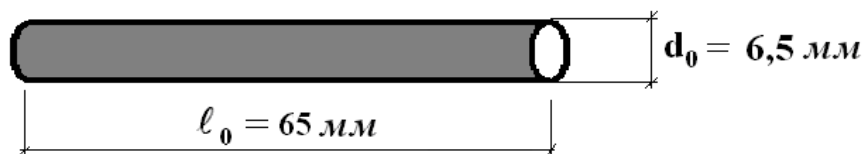


Рисунок 2

Образец изготовлен в соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы. Метод испытаний на растяжение» на металлорежущем станке, сохранены поверхностные слои проката. Длина рабочей части образца $l_0 = 65 \text{ мм}$, диаметр $d_0 = 6,5 \text{ мм}$.

При изготовлении образцов должны быть выполнены следующие требования: высокая однородность сечения образца по его длине, соосность и высокое качество поверхности (малая шероховатость, отсутствие царапин и надрезов).

² Томас Юнг (13.06.1773 – 10.05.1829) – английский физик, механик, врач, который изучал упругое поведение стержней.

3 ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В работе используется испытательная разрывная машина корпорации INSTRON, которая является мировым лидером в области производства оборудования для испытаний материалов.

История **INSTRON** началась в 1947 году, когда два инженера из Массачусетского технологического университета Джордж Бурр и Гарольд Хиндманн разработали и собрали первую электромеханическую разрывную машину для определения механических свойств материалов, которые использовались для изготовления парашютов. Машина была создана на основании имеющихся достижений техники и электроники того времени. Разрывная машина оказалась настолько удачной, что несколько других институтов заказали несколько новых аналогичных систем. Так начал свою деятельность **INSTRON**. С тех пор два человека тянущие в разные стороны парашютную стропу стали эмблемой **INSTRON** (рисунок 3)



Рисунок 3

Сегодня корпорация **INSTRON Ltd** является крупнейшим производителем испытательного оборудования в мире. За последние десятилетия в состав корпорации вошли признанные лидеры в области создания испытательного и измерительного оборудования: 1989 год - **SFL**, Торнбери, Англия (ведущий производитель температурных камер, печей и систем управления температурными испытаниями); 1993 год- **Wilson Instruments** (ведущий производитель твердомеров в Северной Америке, лидер в производстве оборудования для определения твердости по Роквеллу); 1993 год - **WOLPERT** (признанный лидер в производстве твердомеров в Европе); 1995 год- **SHORE Instruments Co** (изобретатели и лидеры в производстве твердомеров для резины); 1995 год - **Wilson Instruments** (ведущий производитель твердомеров в Северной Америке, лидер в производстве оборудования для определения твердости по Роквеллу); 1995 год – **CARL SCHENK AG** (признанный лидер в производстве сервогидравлических машин для усталостных и структурных испытаний); 1998 год - **SATEC** (старейший производитель превосходных гидравлических систем для испытаний материалов).

Испытательные машины фирмы **INSTRON** отличаются высокой степенью надёжности, точностью задания и измерения нагрузок, перемещений и деформаций.

В лаборатории сопротивления материалов Тюменского государственного архитектурно-строительного университета установлена испытательная установка Instron 3382 (рисунок 4).



Рисунок 4

Эта напольная электромеханическая разрывная машина отвечает всем требованиям европейских и американских стандартов, а также внесена в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации.

Технические характеристики электромеханической машины Instron 3382: максимальная нагрузка 100 кН, погрешности измерения нагрузки и деформации $\pm 0,5\%$ от измеряемой величины.

Машина имеет современный аппарат для регистрации результатов испытаний, результаты опыта выводятся на монитор компьютера и хранятся в отдельном файле, что позволяет быстро обрабатывать данные, создавать и хранить отчеты по испытаниям, а также выводить их на печать. Диаграммный аппарат автоматически записывает кривую «нагрузка-деформация», рисунок 6.

4 ЭКСТЕНЗОМЕТР

Измерение деформаций поверхностного слоя образца под действием заданных внешних сил называется тензометрированием. Тензометрия (от лат. *tensus* – напряженный, натянутый и греч. *metreo* – измеряю) – экспериментальное определение напряженного состояния конструкций, основанное на измерении малых деформаций. Измерение деформаций с помощью тензорезистивных преобразователей (тензометров) – одно из самых сложных в технике электрических измерений. Сложность определяется малым диапазоном изменения сопротивления под воздействием деформации.

В данной лабораторной работе используется современный навесной экстензометр INSTRON с базовой длиной 50мм и перемещением $+50\% — 5\%$, рисунок 5. Основными элементами экстензометра являются тензодатчики (тензорезисторы) и непосредственно электронный измеритель деформаций - преобразователь. Расстояние между тензодатчиками называется базовой длиной.

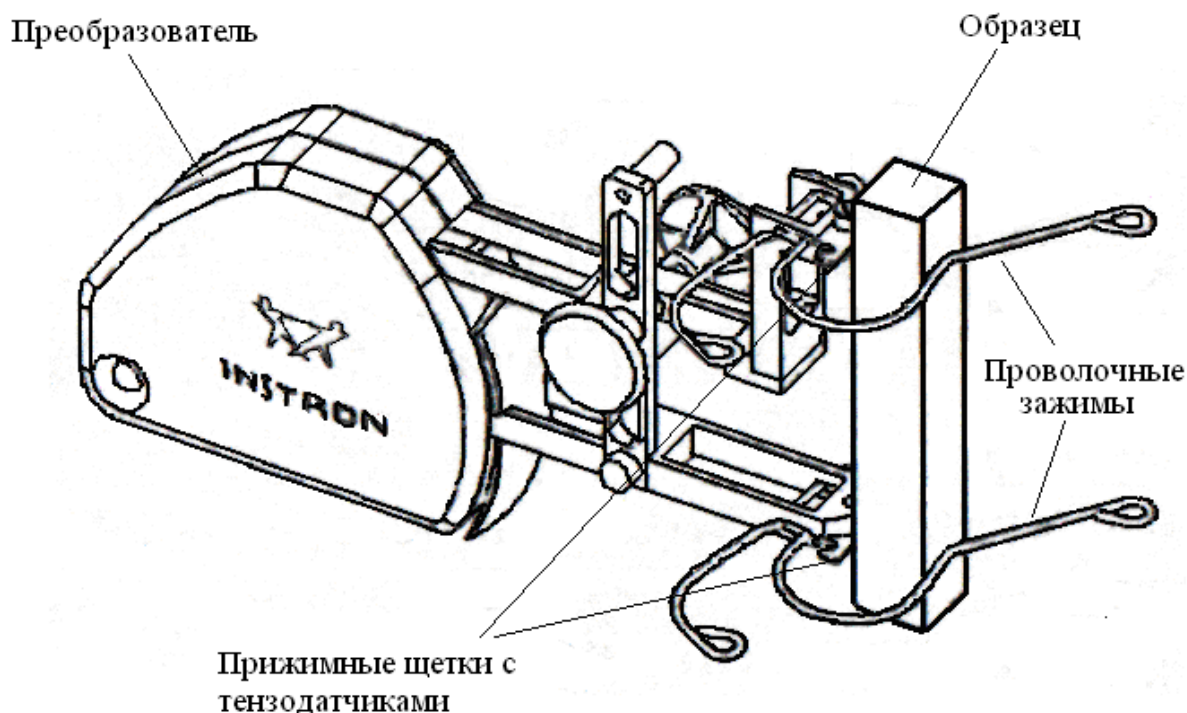


Рисунок 5

Экстензометры предназначены для точного измерения относительного удлинения (или продольной деформации) непосредственно на образце и определения таких параметров как модуль упругости, физический предел текучести, условный предел текучести, технический предел прочности. Использование экстензометров позволяет исключить упругую деформацию нагружающей рамы, захватов и концевых участков образцов.

5 ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

1. Перед установкой образца в испытательную машину производится измерение поперечных размеров образца и длины его рабочей части. Размеры поперечного сечения образца измеряют с погрешностью до 0,01 мм, рабочую длину образца l с погрешностью до 0,1мм. *Нарисовать эскиз стержня в таблице 1.*
2. Измерение поперечных размеров образца проводят в трех местах: в средней части и на границах рабочей длины образца. По наименьшему из полученных результатов измерений определяют начальную площадь A_0 в его рабочей части с отклонением не более 0,01 мм². *Результаты измерений и результаты расчетов занести в таблицу 2.*
3. Далее необходимо проверить готовность к испытанию разрывной машины и диаграммного аппарата. Затем установить образец в захваты испытательной машины.
4. Включить нагружающее устройство испытательной машины.
5. Откалибровать тензомер и прикрепить на образец.
6. Запустить программу эксперимента.
7. Экстензометр снимают после прохождения предела пропорциональности, $F \approx 20 - 25 \text{ кН}$.
8. По стандарту на проведение испытаний ГОСТ 1497-84, металлы, при испытании скорость перемещения подвижного захвата машины не должна превышать до предела текучести -2 мм/мин, за пределом текучести – 10 мм/мин.
9. В процессе испытания наблюдать за поведением образца, автозаписью диаграммы растяжения на мониторе компьютера.
10. После разрушения образца выключить испытательную машину, извлечь из захватов обе половины образца и снять диаграмму растяжения.
11. Произвести обмер разрушенного образца. Для этого нужно плотно сложить обе части образца так, чтобы их оси образовали прямую линию, и измерить штангенциркулем длину расчетной части образца после разрыва l_1 , а также минимальные размеры образца в месте разрыва (в шейке).
12. Определить площадь поперечного сечения в «шейке».
13. Результаты испытаний записать в соответствующие графы отчета (таблицы 1, 2, 3).

6 АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ

Результатом эксперимента является истинная диаграмма растяжения³:

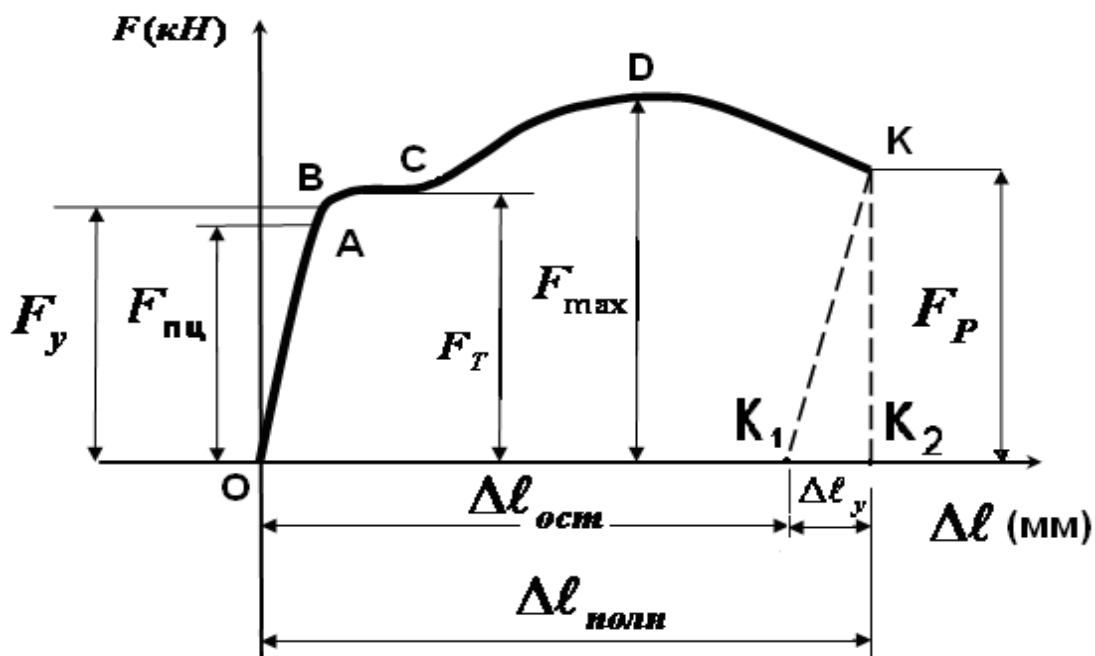


Рисунок 6

По диаграмме растяжения, длине и поперечных размеров сечения образца до и после испытания определяются следующие характеристики механических свойств, свидетельствующие о прочности и пластичности исследуемого материала.

6.1 Характеристики прочности материала.

Прямолинейный участок в начале диаграммы (рисунок 6) характеризует прямую пропорциональность между нагрузкой и деформацией. Точка **A** соответствует напряжению **предела пропорциональности** $\sigma_{пц}$.

Предел пропорциональности $\sigma_{пц}$ - наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука, (МПа):

³ Впервые диаграмму растяжения материала ввел французский математик, механик и инженер Жан Виктор Понселе (1788-1867) в 1828-1829гг. А реальное получение качественных диаграмм растяжения, пригодных для научных исследований было сделано в 1895-1899гг. русским механиком и инженером Андреем Григорьевичем Гагариным (1856-1920) на сконструированном им прессе, который долгое время был лучшей машиной для испытания материалов на растяжение и сжатие.

$$\sigma_{нц} = \frac{F_{нц}}{A_0} \quad (2)$$

Для определения $F_{нц}$ по диаграмме растяжения (рисунок 6) необходимо провести прямую OO_1 , совпадающую с участком OA диаграммы, (рисунок 7).

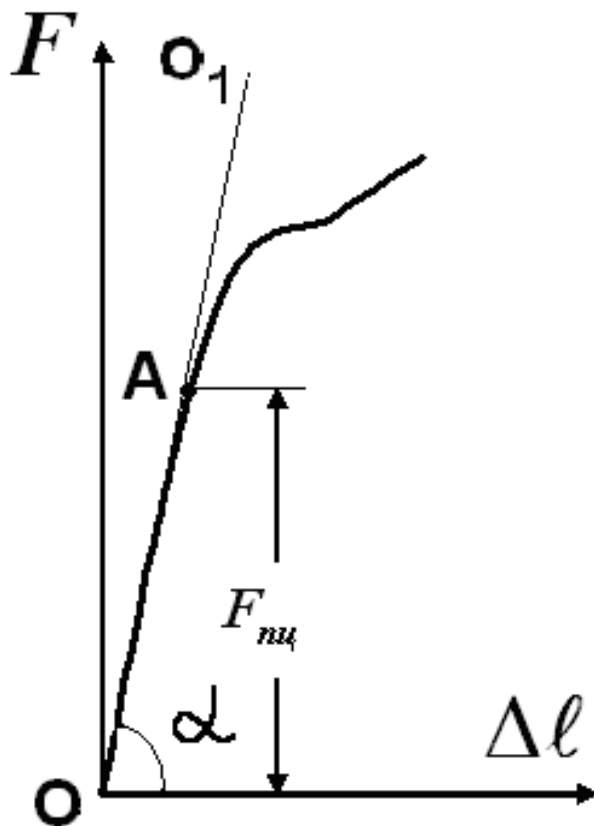


Рисунок 7

Ордината точки A , в которой кривая растяжения отклоняется от прямой OA , определяет нагрузку на пределе пропорциональности $F_{нц}$. Зона OA называется **зоной упругости**, здесь возникают только упругие деформации.

Данные, характеризующие эту зону, позволяют определить значение модуля упругости E .

Способность материала сопротивляться деформированию в упругой области определяется модулем упругости E , который пропорционален тангенсу угла наклона α линейного участка диаграммы,

$$E = \operatorname{tg} \alpha$$

В непосредственной близости от точки A , находится точка B , соответствующая пределу упругости σ_y .

Предел упругости σ_y - максимальное напряжение, при котором в материале не обнаруживаются признаков пластической (остаточной) деформации.

Предел упругости существует независимо от закона прямой пропорциональности. Он характеризует начало перехода от упругой деформации к пластической деформации. У большинства металлов значения предела пропорциональности и предела упругости незначительно отличаются друг от друга. В нашем случае не требуется высокой точности вычислений, поэтому предел упругости принимается равным пределу пропорциональности.

При дальнейшем нагружении деформация растёт быстрее нагрузки и на диаграмме появляется криволинейный участок. Затем криволинейная часть диаграммы переходит почти в горизонтальный участок – *площадку текучести*. Здесь деформации растут практически без увеличения нагрузки – материал «течёт». Зона ВС называется *зоной текучести*.

Точка *C* соответствует *физическому пределу текучести* σ_T . Нагрузку при физическом пределе текучести, если последний выражен площадкой, определяют непосредственно по диаграмме (рисунок б). *Предел текучести физический* σ_T (МПа) – напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0} \quad (3)$$

Для металлов, у которых диаграмма растяжения не имеет площадки текучести, по этой диаграмме определяют *условный предел текучести*. Это напряжение при остаточном удлинении, равном 0,2% от длины образца, определяемое по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0} \quad (4)$$

Значение нагрузки $F_{0,2}$ определяют графически из диаграммы растяжения. Для чего по оси удлинений диаграммы в масштабе от точки *O* откладывают отрезок $OO_2 = \Delta\ell_{0,2} = 0,002\ell_0$ (рисунок 8). Из точки O_2 проводят прямую O_2B , параллельную прямой OA до пересечения с кривой диаграммы растяжения в точке *B*.

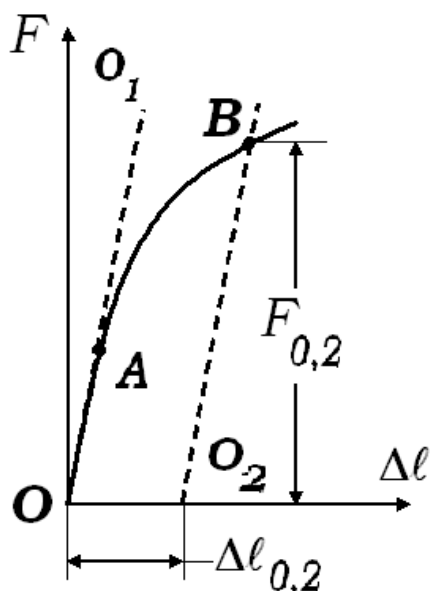


Рисунок 8

За площадкой текучести диаграмма опять идёт вверх по кривой. Образец приобретает способность сопротивляться нагрузкам до значения F_{\max} . На кривой растяжения точка D соответствует величине наибольшей нагрузки F_{\max} , предшествующей разрушению образца. По значению F_{\max} определяют основной показатель прочности материала – *временное сопротивление*.

Временное сопротивление представляет собой наибольшее напряжение, которое выдерживает материал перед разрушением (МПа):

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (5)$$

До точки D удлинение образца происходит по всей длине, первоначальная цилиндрическая форма образца сохраняется, а поперечные сечения изменяются незначительно и также равномерно.

При достижении максимальной нагрузки на образце в наиболее слабом месте возникает локальное уменьшение поперечного сечения - «*шейка*» (рисунок 9).



Рисунок 9

Дальнейшее растяжение происходит в зоне «шейки», после чего наступит разрушение образца. Точка **K** соответствует истинному пределу прочности $\sigma_{ист}$:

$$\sigma_{ист} = \frac{F_p}{A_K} \quad (6)$$

где A_K - площадь поперечного сечения образца в месте разрыва (шейки), $мм^2$.

6.2 Характеристики пластичности материала

Полная деформация образца $\Delta\ell_{полн}$ складывается из остаточной деформации $\Delta\ell_{ост}$ (KK_1 на рисунке б), не исчезающей после разрушения и упругой деформации $\Delta\ell_y$ (отрезок K_1K_2), исчезающей после разрушения образца:

$$\Delta\ell_{полн} = \Delta\ell_{ост} + \Delta\ell_y \quad (7)$$

Относительное удлинение ε - отношение абсолютного удлинения к первоначальной длине, выраженное в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell_{полн}}{\ell_0} \cdot 100\% \quad (8)$$

Относительное сужение ψ - отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после разрушения к первоначальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах:

$$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100\% \quad (9)$$

6.3 Характеристики статической вязкости материала

Помимо найденных выше величин и деформаций, характеризующих пластичность и прочность материала, для оценки качества испытанной стали важно определить также количество работы, затраченной на разрыв образца. Чем больше работы необходимо затратить для разрыва образца, тем больше энергии в состоянии поглотить материал не разрушаясь, тем лучше он будет сопротивляться ударным нагрузкам, поглощая кинетическую энергию удара.

Величина полной работы, затраченной при растяжении образца до его разрыва, графически изображается площадью диаграммы растяжения $OABCDK_2$ и вычисляется по формуле:

$$U = \left[F_{ну} + \frac{2}{3}(F_{max} - F_{ну}) \right] \Delta\ell \quad (10)$$

Чтобы получить величину, характеризующую не сопротивление образца, а сопротивление материала, необходимо подсчитать удельную работу растяжения, то есть количество работы, приходящееся на единицу объема испытанного образца:

$$a = \frac{U}{V}, \frac{H}{\text{см}^2} \quad (11)$$

Удельная работа характеризует способность материала поглощать энергию при разрыве, вязкость материала и сопротивляемость его динамическому воздействию нагрузки.

Используя формулы (1-11), заполнить таблицу №3 и построить условную диаграмму растяжения образца (по вертикальной оси откладываются нормальные напряжения, а по горизонтальной оси – относительные деформации).

7 ОТЧЕТ

Испытание проводится на машине.....
 Предельная сила машины.....
 Диаграмма деформирования строится автоматически.

Таблица 1. - Эскизы образцов до и после испытания.

	До испытания	После испытания
Вид образца		

Таблица 2. - Размеры образцов до и после испытания

Начальный диаметр, d_0 , мм	
Начальная расчетная длина, l_0 , мм	
Начальная площадь поперечного сечения, A_0 , мм ² .	
Диаметр в месте шейки, после разрыва, d_k , мм	
Конечная расчетная длина, l_k , мм	
Конечная площадь поперечного сечения, A_k , мм ² .	
Объем расчетной части образца $V = A_0 l_0$	

Таблица 3. - Результаты испытаний образца при растяжении.

$F_{ну}, \kappa H$	
$\sigma_{ну} = \frac{F_{ну}}{A_0}, \text{МПа}$	
$E, \text{МПа}$	
$F_T, \kappa H$	
$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}, \text{МПа}$	
$F_{max}, \kappa H$	
$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}, \text{МПа}$	
$F_p, \kappa H$	
$\sigma_{уст}^y = \frac{F_p}{A_0}, \text{МПа}$	
$\sigma_{уст} = \frac{F_p}{A_k}, \text{МПа}$	
$\Delta l_{ост} = l_k - l_0, \text{мм}$	
$\varepsilon = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} 100\%$	
$\Delta A = A_0 - A_k, \text{мм}^2$	
$\psi = \frac{\Delta A}{A_0} 100\%$	
$U = \left[F_{ну} + \frac{2}{3}(F_{max} - F_{ну}) \right] \Delta l, \text{Н} \cdot \text{см}$	
$a = \frac{U}{V}, \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$	

8 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы цели испытания материала на растяжение?
2. Какие требования предъявляются к размерам и форме стандартных образцов для испытания материалов на растяжение?
3. Что называется абсолютным удлинением и какова его размерность?
4. Какие деформации принято называть упругими, а какие - остаточными?
5. Какой вид имеет диаграмма растяжения для пластичного материала?
6. Какой вид имеет начальный участок диаграммы растяжения? Какому закону подчиняются деформации материала на этом участке?
7. Что называется пределом упругости материала? По какому критерию он определяется?
8. Какие свойства материала характеризуют модуль упругости? Какие величины нужно измерить при статическом испытании, чтобы найти его значение?
9. Какой участок диаграммы называется площадкой текучести и как определяется предел текучести?
10. Как определяется временное сопротивление (предел прочности)?
11. Чем объясняется уменьшение растягивающей силы за пределом прочности на условной диаграмме растяжения?
12. Как деформируется пластичный материал на конечном участке диаграммы?
13. Как определяется истинное напряжение в момент разрыва?
14. Что такое условное напряжение?
15. Чем отличается истинная диаграмма от условной диаграммы?
16. Как вычисляется величина максимального относительного остаточного удлинения? Какие свойства материала она определяет?
17. Что такое относительное сужение после разрыва и как оно определяется?
18. Что называется удельной работой разрушения при разрыве? Какие свойства материала она характеризует и как вычисляется?
19. Для чего используется в работе экстензометр?
20. Что называется базой экстензометра?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов.- 2-е изд. испр. - М.: Высш. шк., 2012.-500с.
2. Белов В.В., Петропавловская В.Б. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства: Учебное пособие.- М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2006.- 208с.
3. Беляев Н.М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов. Учебное пособие.- 4-е изд. испр. и доп., Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва- Ленинград, 1951.- 336с.
4. Болтон У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты: Карманный справочник./ Пер. с англ.-М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004.- 320с.
5. Варданян Г.С., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2003, -480С.
6. Вольмир А.С., Григорьев Ю.П., Марьин В.А., Станкевич А.И. Сопротивление материалов. Лабораторный практикум: Учеб.пособие для вузов.-2-е изд., испр.-М.: Дрофа, 2004. – 352с.
7. Копнов В.А., С.Н.Кривошапка. Сопротивление материалов: Руководство для решения задач и выполнения расчетно-графических работ/М.: Высш.шк. 2003.-351с.
8. Малинин Н.Н. Кто есть кто в сопротивлении материалов/ Под. Ред. В.Л.Данилова.2-е изд., М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.- 248с.
9. Маркова Б.Н. Прикладная механика. Сопротивление материалов: лабораторные работы/ Б.Н. Маркова.- М.: КДУ, 2007.- 104с.
- 10.Писаренко Г.С., Яковлев А.П., МатвеевВ.В. Справочник по сопротивлению материалов.- Киев: Наукова думка, 1988.-735с.
- 11.Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов: С краткими сведениями из теории упругости и теории сооружений: Пер. с англ./ Под ред. А.Н. Митинского. Изд.2-е, стереотипное. – М.: КомКнига, 2006. – 536 с.
- 12.Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов: Учебник для вузов.2-е изд., стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2002.- 672с.
- 13.Черкасов В.В. Методика преподавания сопротивления материалов/ Минск, Вышэйш. школа, 1974.-256с.