

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ И НАУКЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ГОУ ВПО Тюменский государственный
архитектурно-строительный университет**



Кафедра строительной механики

Лабораторная работа

по сопротивлению материалов

**«ИСПЫТАНИЕ ПЛОСКОГО СТАЛЬНОГО
ОБРАЗЦА НА РАЗРЫВ»**

Тюмень

2009

Наименование учебно-методического материала: Методические указания к лабораторной работе «Испытание плоского стального образца на разрыв» по сопротивлению материалов разработаны к.ф.-м.н., доцентом Кутруновой З.С. Предназначены для студентов всех специальностей, изучающих сопротивление материалов. Тюмень: ТюмГАСУ.- Тюмень, 2009г., 20с.

Рецензент:

к.т.н., доцент Карпенко Ю.И.
(Степень, звание, фамилия, имя, отчество)

Учебно-методический материал утвержден на заседании кафедры:

Протокол № ___ от «___» _____ 2009 г.

Учебно-методический материал утвержден на заседании УМС:

Протокол № ___ от «___» _____ 2009 г.

Тираж 50 экземпляров.

© Кутрунова З.С.,

© Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
2009

Лабораторная работа

Испытание плоского стального образца на разрыв.

Цели работы:

1. изучение поведения плоского стального образца при растяжении до разрушения;
2. получение истинной диаграммы растяжения и установление основных механических характеристик прочности и пластичности;
3. построение условной диаграммы растяжения;

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 .

В работе используется короткий образец прямоугольного поперечного сечения (ГОСТ 1497- 84). Толщина $a_0 = 5\text{мм}$, с начальной расчетной длиной $\ell_0 = 5,65\sqrt{A_0}$, где $a_0 = 5\text{мм}$

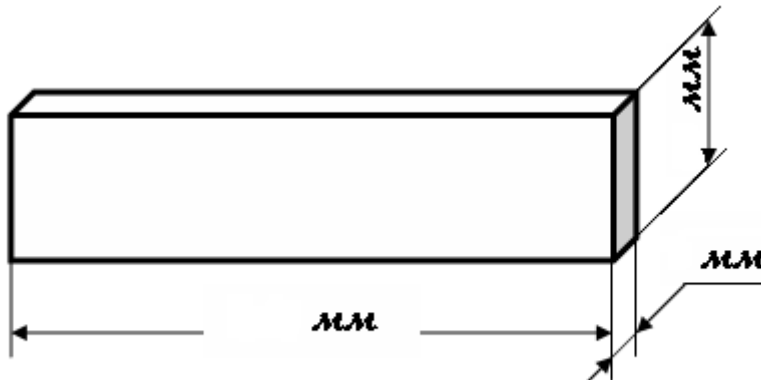


Рис.1

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

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**...



Рис. 2

С тех пор два человека тянущие в разные стороны парашютную стропу стали эмблемой **INSTRON** (рис 2.).

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 серво-гидравлических 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 (рис3.).



Рис.3. Испытательная
машина Instron 3382

Это напольная
электромеханическая
разрывная машина,
которая 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», (см. рис. 6).

При выполнении лабораторной работы требуется использование таких измерительных приборов, как штангенциркуль (рис 4.) и микрометр (рис.5).

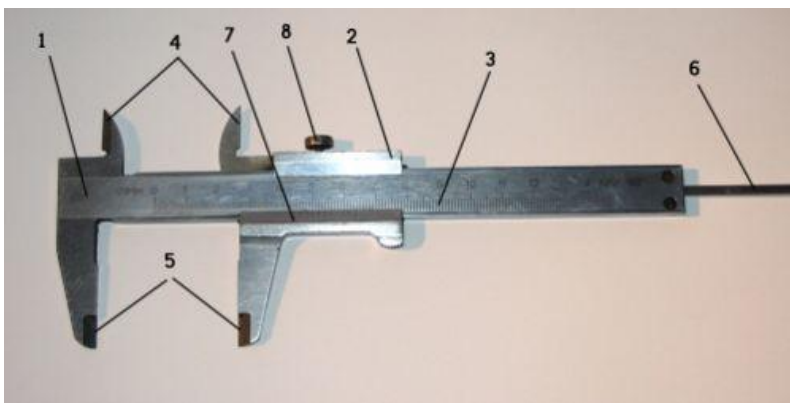
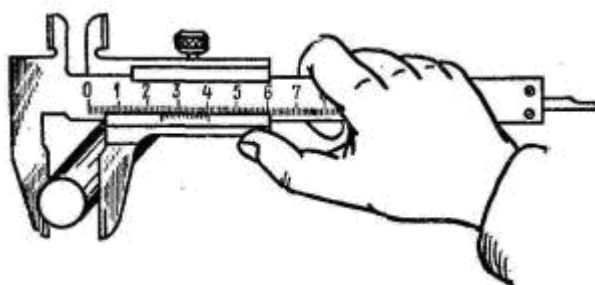


Рис.4. Штангенциркуль



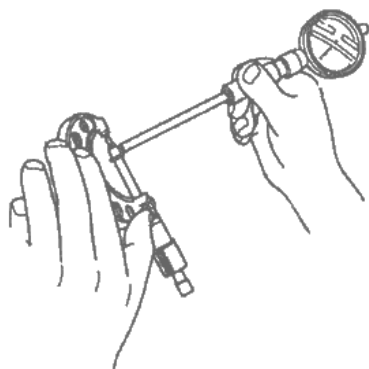
(от нем. Stangenzirkel) — универсальный инструмент, предназначенный для измерений с высокой точностью: наружных и внутренних размеров а также глубин отверстий.

Устройство штангенциркуля:

1. штанга
2. подвижная рамка
3. шкала штанги
4. губки для внутренних измерений
5. губки для наружных измерений
6. линейка глубиномера
7. нониус
8. винт для зажима рамки



Рис.5. Микрометр



Микрометр - универсальный инструмент, предназначенный для измерений с высокой точностью в области малых размеров. Принцип действия микрометра основан на использовании зависимости линейного перемещения винта от угла его поворота в неподвижной гайке. В зависимости от конструкции микрометр измеряет охватываемые и охватывающие размеры, (рис.5).

Подготовка и проведение испытаний.

1. Измерить поперечные размеры и длину образцов. *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 $0,01 \text{ мм}^2$. Размеры поперечного сечения образца измеряют с погрешностью до $0,01 \text{ мм}$, рабочую длину образца l с погрешностью до $0,1 \text{ мм}$. По результатам измерений заполнить в таблицы 1 и 2.*
2. Отметить на поверхности образцов расчетную длину. Данные занести в таблицу 2.
3. Проверить готовность к испытанию машины и диаграммного аппарата.
4. Установить один образец в захваты испытательной машины.
5. Включить нагружающее устройство испытательной машины и, плавно нагружая образец, провести его испытание до разрушения. *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 .*
6. В процессе испытания наблюдать за поведением образца и за автозаписью диаграммы растяжения на мониторе компьютера.
7. После разрушения образца выключить испытательную машину, извлечь из захватов обе половины образца и вывести на печать диаграмму растяжения.
8. Произвести обмер разрушенного образца. *Для этого плотно сложите обе части образца так, чтобы их оси образовали прямую линию, и измерьте штангенциркулем длину расчетной*

части образца после разрыва l_k . Полученные результаты занести в таблицы 1 и 2.

9. Определить площадь поперечного сечения в «шейке». Для этого Диаметр в «шейке» измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Вычисляют среднеарифметическое значение d_k и по нему - площадь поперечного сечения образца в месте разрыва. Результаты внести в таблицу 2.

10. Выполнить п.4-9 для второго образца.

Анализ полученной диаграммы растяжения.

Результатом эксперимента является истинная диаграмма растяжения¹:

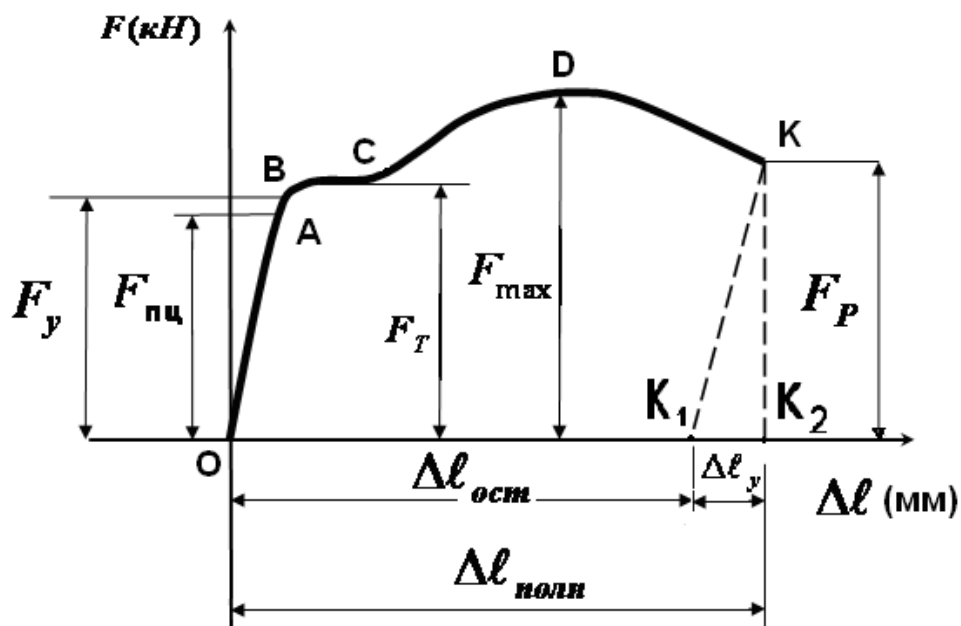


Рис.6. Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали.

¹ 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.

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

Характеристики прочности материала.

Прямолинейный участок в начале диаграммы (рис.6) характеризует прямую пропорциональность между нагрузкой и деформацией. Точка *A* соответствует напряжению **предела пропорциональности** σ_{nc} .

Предел пропорциональности σ_{nc} - наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука, (МПа):

$$\sigma_{nc} = \frac{F_{nc}}{A_0} \quad (1)$$

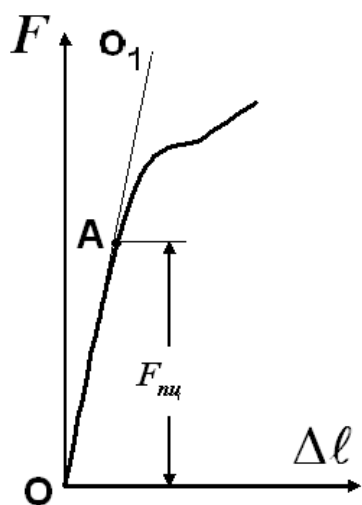


Рис.7

Для определения F_{nc} по диаграмме растяжения (рис.6) необходимо провести прямую OO_1 , совпадающую с участком OA диаграммы, (рис.7). Ордината точки *A*, в которой кривая растяжения отклоняется от прямой OA , определяет нагрузку на пределе пропорциональности F_{nc} . Зона OA называется **зоной упругости**, здесь возникают только упругие деформации.

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

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

обнаруживается признаков пластической (остаточной) деформации. Предел упругости существует независимо от закона прямой пропорциональности. Он характеризует начало перехода от упругой деформации к пластической. 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 (рис.6). **Предел текучести физический σ_T (МПа)**- напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0} \quad (2)$$

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

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0} \quad (3)$$

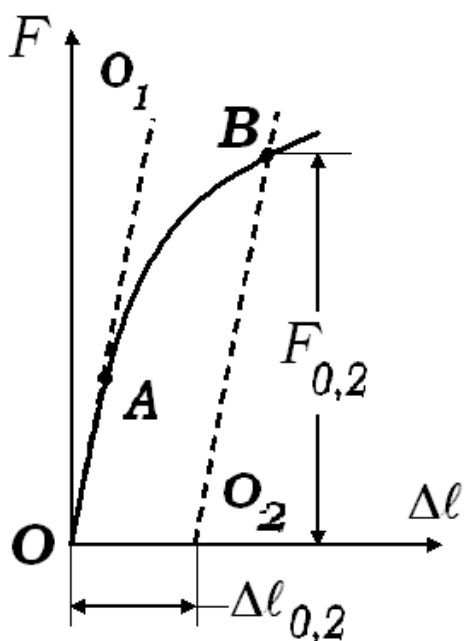


Рис.8

Значение нагрузки $F_{0,2}$ определяют графически из диаграммы растяжения. Для чего по оси удлинений диаграммы в масштабе от точки O откладывают отрезок $OO_2 = \Delta l_{0,2} = 0,002l_0$ (рис.8). Из точки O_2 проводят прямую O_2B , параллельную прямой OA до пересечения с кривой диаграммы растяжения в точке B .

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):

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (4)$$

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



Рис.9

слабом месте возникает локальное уменьшение поперечного сечения - **«шейка»** (рис.9).

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

$$\sigma_{ист} = \frac{F_p}{A_K} \quad (5)$$

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

Характеристики пластичности материала.

Полная деформация образца $\Delta l_{полн}$ складывается из остаточной деформации $\Delta l_{ост}$ (KK_1 на рис.6), не исчезающей после разрушения и упругой деформации Δl_y (отрезок K_1K_2), исчезающей после разрушения образца:

$$\Delta l_{полн} = \Delta l_{ост} + \Delta l_y \quad (6)$$

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{полн}}{l_0} \cdot 100\% \quad (7)$$

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

$$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100\% \quad (8)$$

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:

$$U = \left[F_{nc} + \frac{2}{3}(F_{max} - F_{nc}) \right] \Delta \ell \quad (9)$$

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

$$a = \frac{U}{V}, \frac{H}{cm^2} \quad (10)$$

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

Используя формулы (1-10), заполнить таблицу №3 и построить условные диаграммы растяжения для каждого образца.

По полученным диаграммам и характеристикам, используя справочник, установить марки стали и в соответствии с этим решить, в каких конструкциях материалы могут найти применение.

Отчет

Испытание проводится на машине.....

Пределная сила машины.....

Диаграмма деформирования строится автоматически.

Таблица №1. Эскизы образцов до и после испытания.

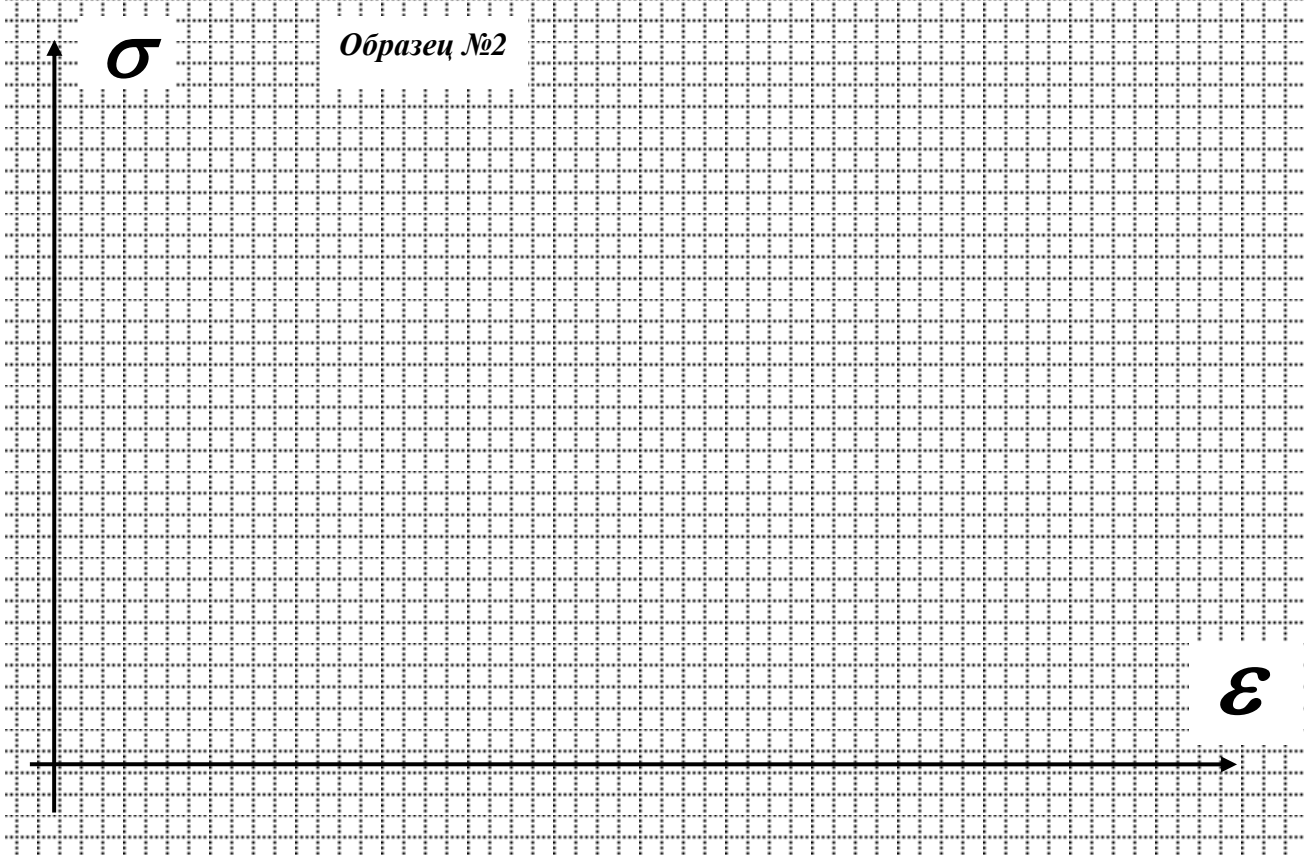
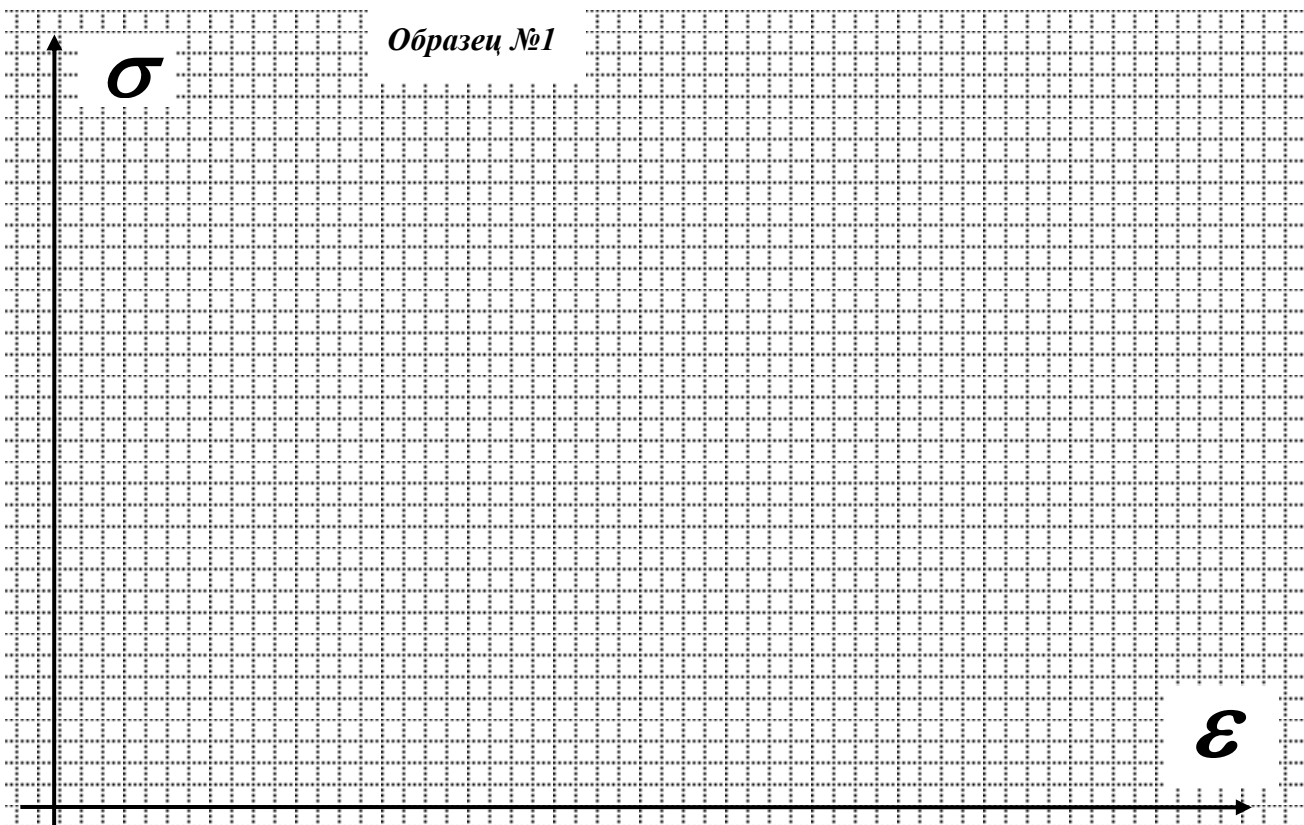
	<i>Образец №1</i>	<i>Образец №2</i>
до испытания		
После испытания		

Таблица №2. Размеры образцов до и после испытания

	<i>Образец №1</i>	<i>Образец №2</i>
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 образцов при растяжении.

	Образец №1	Образец №2
$F_{ну}, \text{кН}$		
$\sigma_{ну} = \frac{F_{ну}}{A_0}, \text{МПа}$		
$F_T, \text{кН}$		
$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}, \text{МПа}$		
$F_{max}, \text{кН}$		
$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}, \text{МПа}$		
$F_p, \text{кН}$		
$\sigma_{уст}^y = \frac{F_p}{A_0}, \text{МПа}$		
$\sigma_{уст} = \frac{F_p}{A_k}, \text{МПа}$		
$\Delta l_{осм} = l_k - l_0, \text{мм}$		
$\varepsilon = \frac{\Delta l_{осм}}{l_0} 100\%$		
$\Delta A = A_0 - A_k, \text{мм}^2$		
$\psi = \frac{\Delta A}{A_0} 100\%$		
$U = \left[F_{ну} + \frac{2}{3}(F_{max} - F_{ну}) \right] \Delta l, \text{Н} \cdot \text{см}$		
$a = \frac{U}{V}, \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$		



Контрольные вопросы

1. Каковы цели испытания материала на растяжение?
2. Что называется абсолютным удлинением и какова его размерность?
3. Какие деформации принято называть упругими и какие - остаточными?
4. Какой участок диаграммы называется площадкой текучести и как определяется предел текучести?
5. Как определяется временное сопротивление (предел прочности)?
6. Чем объясняется уменьшение растягивающей силы за пределом прочности на условной диаграмме растяжения?
7. Как определяется истинное напряжение в момент разрыва?
8. Что такое условное напряжение?
9. Чем отличается истинная диаграмма от условной диаграммы?
10. Что такое относительное сужение после разрыва и как оно определяется?

Использованная литература

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов.- 2-е изд. испр. - М.: Высш. шк., 2000.-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, 1951, Москва- Ленинград.

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. Копнов В.А., С.Н.Кривошапко. Сопротивление материалов: Руководство для решения задач и выполнения расчетно-графических работ/М.: Высш.шк. 2003.-351с.
7. 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.
8. Маркова Б.Н. Прикладная механика. Сопротивление материалов: лабораторные работы/Б.Н. Маркова.- М.: КДУ, 2007.- 104с.
9. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., МатвеевВ.В. Справочник по сопротивлению материалов.- Киев: Наукова думка, 1988.-735с.
10. 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.
11. Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов: Учебник для вузов.2-е изд., стер. -СПб.: Издательство «Лань», 2002.- 672с.
12. Черкасов В.В. Методика преподавания сопротивления материалов/ Минск, Вышэйш. школа,1974.-256с.

Содержание

Цели работы.....	3
Описание работы.....	3
Испытательная машина и измерительные инструменты.....	4
Подготовка и проведение испытаний.....	8
Анализ полученной диаграммы растяжения.....	9
<i>Характеристики прочности материала.....</i>	<i>10</i>
<i>Характеристики пластичности материала.....</i>	<i>13</i>
<i>Характеристики статической вязкости материала.....</i>	<i>13</i>
Отчет.....	15
<i>Таблица 1.....</i>	<i>15</i>
<i>Таблица 2.....</i>	<i>15</i>
<i>Таблица 3.....</i>	<i>16</i>
Контрольные вопросы.....	18
Использованная литература.....	18