



**Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное
образовательное**

учреждение высшего образования

Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций
сертифицирована

ООО «ДКС РУС» по международному стандарту ISO 9001:2015

Институт Институт морских технологий, энергетики и транспорта

Кафедра «Общественные дисциплины и транспорт»

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

**Методические указания для лабораторных занятий по дисциплине
«Сопротивление материалов»**

Для обучающихся по направлению

08.03.01 Строительство

Профиль Промышленное и гражданское строительство

АСТРАХАНЬ – 2024

Авторы: доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт»

С.Б. Джахьяева

Рецензент: Каргин С.А., к.т.н. доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт»

В представленных методических указаниях рассматривается порядок проведения лабораторных испытаний при разных способах нагружения образцов с целью изучения прочностных и деформационных характеристик различных материалов и подтверждения известных основных закономерностей.

Каждая лабораторная работа содержит краткую описательную часть эксперимента и оборудования, на котором он производится, его цель, порядок проведения и сведения о поведении испытуемых материалов. По результатам проведения работы заполняется лабораторный журнал, в котором конспективно отражается её цель и содержание, приводится протокол испытаний образцов и обработки полученных результатов. По окончании лабораторной работы делаются выводы.

Для контроля усвоения рассматриваемого раздела курса сопротивления материалов, предлагаются контрольные вопросы.

Методические указания для лабораторных занятий по дисциплине «Сопротивление материалов» по направлению 08.03.01 Строительство профиль Промышленное и гражданское строительство утверждены на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт», протокол № 6 от 28 июня 2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
Введение	4
<i>Лабораторная работа № 1</i>	7
Изучение лабораторной установки для испытания материалов УИМ - 2.	
Инструктаж по технике безопасности.	
<i>Лабораторная работа № 2,</i>	16
Исследование механических характеристик материала при испытании на растяжение	
<i>Лабораторная работа № 3</i>	36
Испытание на сжатие различных материалов	
<i>Лабораторная работа № 4</i>	52
Исследование материала на срез	
<i>Лабораторная работа № 5</i>	59
Испытание на кручение образцов материалов	
<i>Лабораторная работа № 6</i>	68
Измерение твердости по Бринеллю	
<i>Лабораторная работа № 7</i>	80
Испытание балки на изгиб	
<i>Лабораторная работа № 8</i>	93
Исследование деформации образца при сложном нагружении	
<i>Лабораторная работа № 9</i>	101
Исследование механических свойств цилиндрической пружины	
<i>Лабораторная работа № 10</i>	117
Исследование механических свойств тарельчатой пружины при сжатии	
<i>Лабораторная работа № 11</i>	126
Исследование механических свойств тонких пластин при глубокой вытяжке	

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы являются обязательной и неотъемлемой составной частью учебного процесса по изучению курса «Сопротивление материалов». Теория сопротивления материалов, как правило, упрощает действительные явления, схематизирует их. Поэтому каждый теоретический вывод, полученный на основании опыта (при известных допущениях и ограничениях), требует экспериментальной проверки.

Все лабораторные работы основаны на изучении характера поведения конструкционных материалов: сталь, чугун, бетон, дерево и др. при различных видах и способах нагружения. Для проведения инженерных расчетов необходимо знать их механические характеристики, ответственные за прочность и жесткость.

Лабораторные работы проводятся в лаборатории «Сопротивление материалов» (I корпус 312 аудитория) в часы практических и лабораторных занятий в строго установленные даты и время. Лаборатория механических испытаний оснащена стандартным испытательным оборудованием, соответствующим современным требованиям, предъявляемым к лабораториям учебных заведений.

При подготовке к выполнению каждой лабораторной работы студент должен самостоятельно изучить теоретический материал, изложенный в данном пособии, и подкрепить его сведениями из лекций и рекомендуемой учебной литературы по данной тематике.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, студент проходит инструктаж по технике безопасности. Преподаватель, ведущий лабораторные работы, проводит ознакомление с машинами и установками, указывая на опасность, представляемую при их работе, электрического и механического характера. После прохождения инструктажа студент должен оставить подпись в журнале по охране труда или в протоколе по технике безопасности.

К началу лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж, и имеющие по каждой из них краткий конспект (журнал отчета по лабораторным работам), который должен содержать:

- название работы;
- цель и порядок проведения исследования;
- название и характеристики применяемого оборудования;
- схематичные рисунки машины (или лабораторной установки) и образцов для испытания;
- таблицы для занесения снимаемых показаний и расчетных характеристик;
- расчетные формулы;
- выводы по окончании проведения исследования.

Оформление лабораторного журнала, содержащего отчеты по всем лабораторным работам, производится на листах формата А-4 (с одной стороны). Пример титульного листа приводится в конце методических указаний (Приложение 1). Допускается вклеивание диаграмм и графиков на миллиметровой бумаге. Графические пояснения, схемы и рисунки следует выполнять четко и аккуратно с помощью карандаша и линейки или с помощью любого графического редактора.

Выполненные лабораторные работы должны быть защищены студентом преподавателю, их проводившему, в строго установленные сроки до экзамена (зачета). Для их защиты студент должен предоставить собственный полностью заполненный лабораторный журнал, аккуратно оформленный согласно указаниям по каждой работе. Защита каждой работы предполагает ответы на вопросы о целях и порядке проведения исследования, применяемых машинах, установках и образцах, расчетных формулах и полученных результатах. Для подготовки к защите лабораторных работ в конце каждой имеется список контрольных вопросов. Предусматривается, что при подготовке к защите лабораторных работ студент должен изучить не только сведения, приведенные в

настоящем пособии, но теоретический материал, изложенный в лекциях и рекомендуемой литературе.

Без защиты всех лабораторных работ студент к экзамену (зачету) не допускается и считается не выполнившим семестровый учебный план (см. «Правила рейтинговой системы оценки знаний по дисциплине «Сопротивление материалов»).

Лабораторная работа № 1

Изучение лабораторной установки для испытания материалов УИМ -

Инструктаж по технике безопасности

Назначение

Лабораторная установка УИМ-2 предназначена для исследования механических свойств материалов:

1. Растяжение цилиндрических образцов
2. Растяжение плоских образцов
3. Испытание на сжатие
4. Испытание на одиночный срез
5. Испытание на двойной срез
6. Испытание на изгиб балки
7. Сжатие цилиндрической пружины
8. Сжатие тарельчатой пружины
9. Испытание на глубокую вытяжку пластин
10. Замер твёрдости материала

Условия эксплуатации УИМ-2 — в помещении при температурах от + 10 до + 35 °С и относительной влажности воздуха до 80 % при 25 °С.

Комплектность

Внешний вид лабораторной установки УИМ-2 показан на рисунке 1.1.

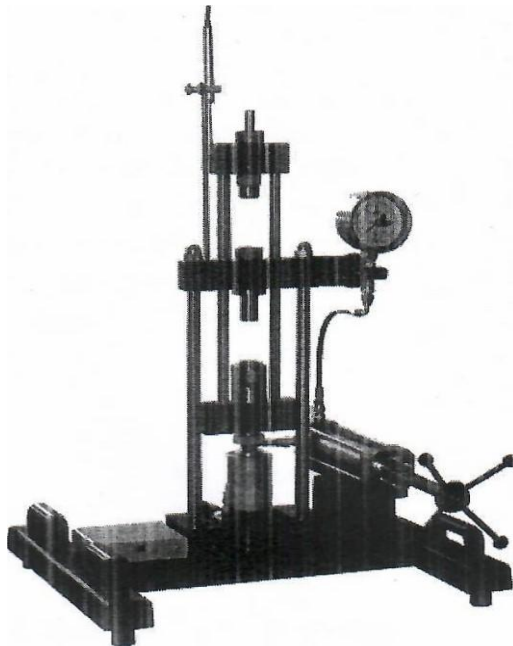


Рисунок 1.1

В состав установки входят:

- Установка для проведения испытаний
- набор образцов для проведения лабораторных работ;
- персональный компьютер;
- электронный блок обработки сигналов
- программное обеспечение;
- лабораторные работы;
- ЗИП

Основные технические данные

Основные технические характеристики:

- Типоразмер испытуемых образцов В6х30 согласно DIN 50125;
- Нагрузка образцов осуществляется посредством ручного, гидравлического привода;
- Максимальное усилие до 200кН;
- Максимальное перемещение при испытании 45 мм;
- Рабочая зона испытательной машины 165х65 мм;
- Динамометр диаметр 160 мм, 0...200 кН максимум, с ценой деления 0,5кН;
- Индикатор перемещения 0...10 мм, цена деления 0,01 мм; - Габаритные размеры, ДхШхВ, 500х605х1000мм; - Масса 40 кг.

Устройство и принцип работы

Базовая конструкция установки УИМ -2, с указанием составных узлов, показана на рисунке 1.2.

Необходимое усилие для проведения испытаний развивается за счет гидравлической системы, работающий от ручного привода, и отображается на динамометре с круговой шкалой.

Изменение длины образца отображается с помощью механического, регулируемого датчика - индикатора положения.

Контроль параметров можно также можно также с помощью компьютера, где параметры отображаются в виде диаграмм. Для работы с компьютером на основании закреплен электронный блок обработки сигналов: от датчика линейных перемещений, и от датчика давления.

Основными элементами конструкции являются: основание с ручками перемещения; портал: силовая рама.

Основание представляет собой массивную сварную конструкцию из высококачественной стали, и в сочетании с 4 резиновыми ножками определяет устойчивость конструкции, жесткость фиксации механической и гидравлической систем.

Портал состоящий из боковых цилиндрических стоек и поперечной балки, образует жестко фиксированную раму испытательной установки. К поперечной балке закрепляются неподвижные хвостовики испытуемых образцов. Кроме того в балке запрессованы шариковые подшипники для облегченного хода направляющих силовой рамы.

Силовая рама состоит из верхней и нижней траверс, и направляющих. Силовая рама передает необходимое усилие от силового гидравлического цилиндра к испытуемому образцу. Силовая рама смонтирована внутри портала. При испытании образцов на растяжение — образец крепится между верхней траверсой и верхней поверхностью поперечной балки. При испытании образцов на сжатие — образец устанавливается между нижней траверсой и внутренней поверхностью поперечной балки.

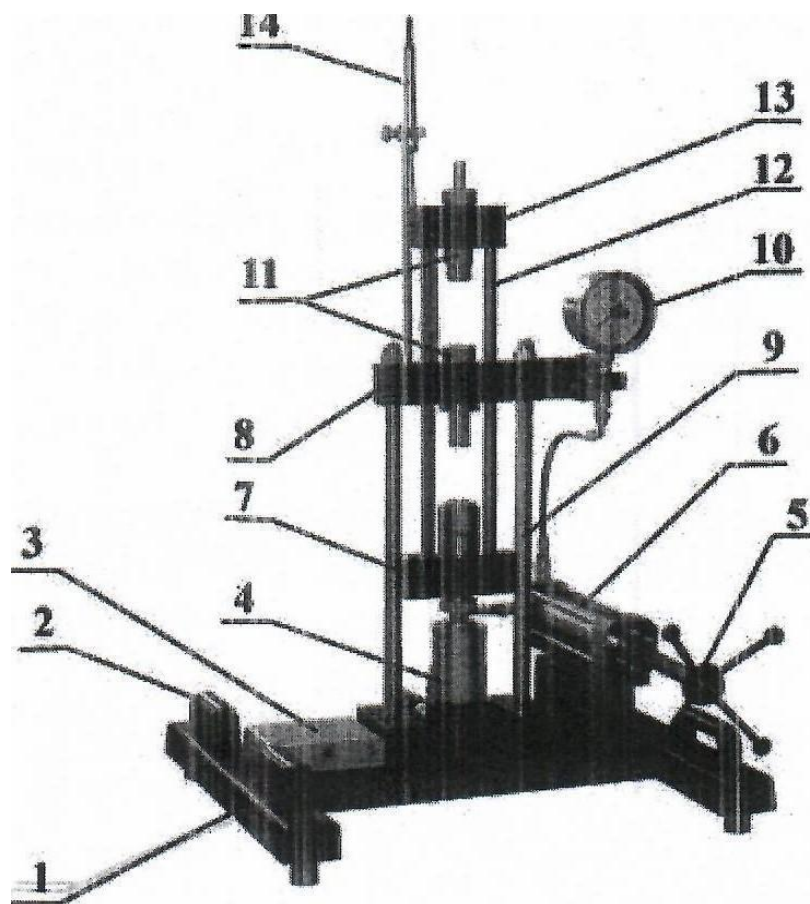


Рисунок 1.2.

1- Основание, 2 - Ручки для перемещения, 3- Блок обработки сигналов (блок АЦП), 4 - Силовой цилиндр, 5 - Маховик главного цилиндра, 6 - Главный цилиндр, 7 - Нижняя траверса силовой рамы, 8 – Портал, 9 - Направляющие портала, 10 – Динамометр, 11 - Зажимные патроны для испытуемых образцов, 12 - Направляющие силовой рамы, 13 - Верхняя траверса силовой рамы, 14 - Датчик перемещения

Программное обеспечение УИМ - 2

С целью визуализации и протоколирования проведения лабораторных работ, установка укомплектована персональным компьютером и специализированным программным обеспечением OMD*, поставляемом на CD. Программное обеспечение выполнено с помощью LabView версии 8.5.

Для установки программного обеспечения на компьютере необходимо иметь 180 Мб свободного дискового пространства.

Инсталляция программного обеспечения

Для инсталляции программного обеспечения УИМ - 2 необходимо произвести следующие действия:

- вставить CD в дисковод;
- войти в папку OMD;
- двойным щелчком на файл setup.exe запустить инсталляцию;
- действовать согласно дальнейшим указаниям программы;
- после завершения инсталляции перезагрузить компьютер;
- после перезагрузки войти в папку C:\ Program files\ OMD);
- выделить файл OMD.exe и создать на рабочем столе ярлык для вызова программы (рисунок 1.3).

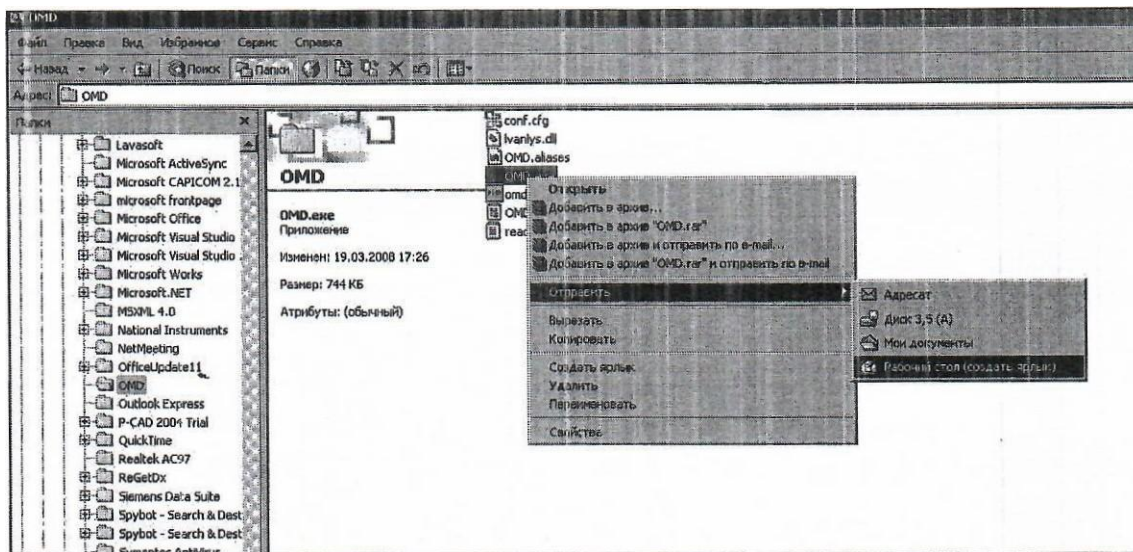


Рисунок 1.3

В комплект поставки также входят установочные диски National Instruments для инсталляции платы сбора данных USB 6008. Данные диски поставляются National Instruments вместе с платой, но не используются в установке УИМ- 2.

Работа с программным обеспечением OMD

Общий вид панели OMD представлен на рисунке 1.4. После загрузки программы система визуализации готова к регистрации данных.

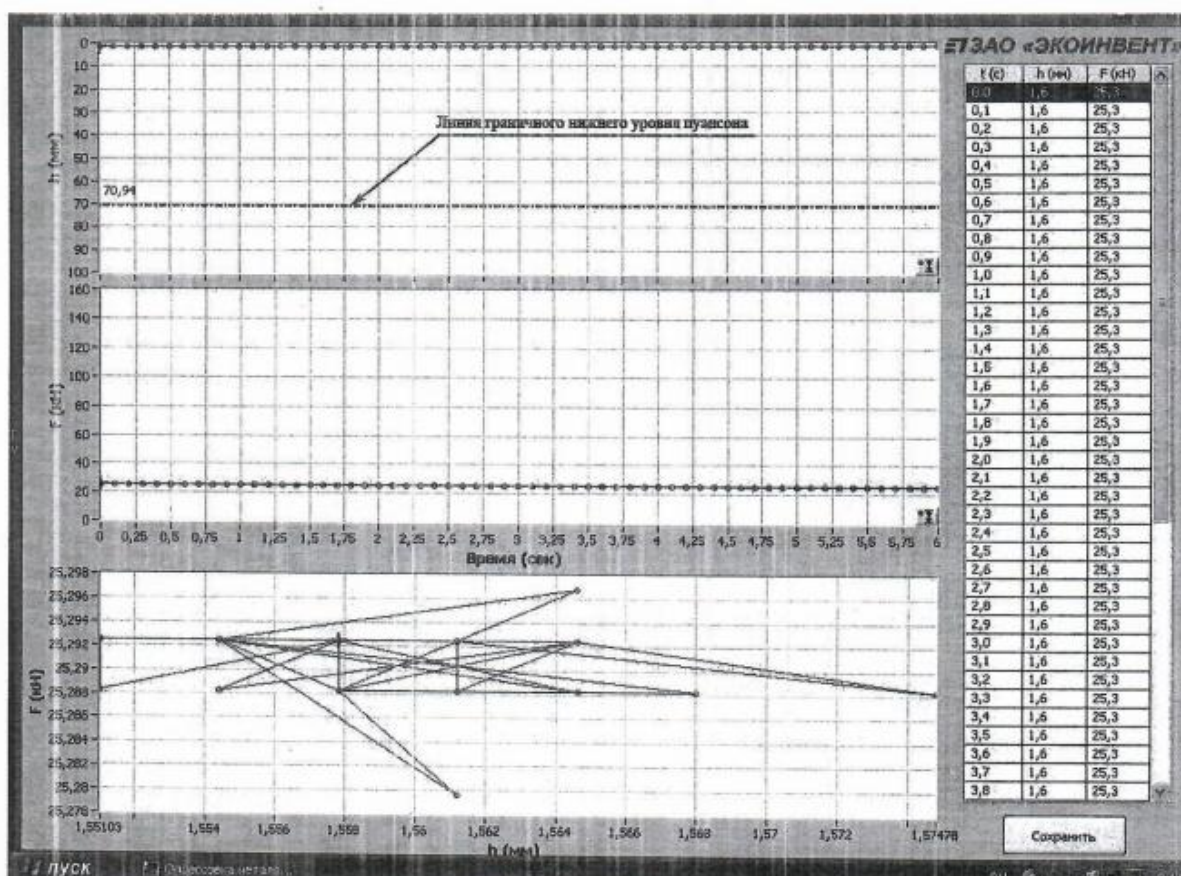


Рисунок 1.4

Проведение экспериментальных исследований.

Для проведения экспериментальных исследований необходимо:

Включить в сеть —220В/50Гц адаптер питания блока обработки сигналов (блок АЦП), (см. рисунок 1.2).

Подключить компьютер к блоку обработки сигналов (блок АЦП) через разъем «РС» с помощью кабеля входящего в комплект поставки (см. рисунок 1.2). После подключения кабеля и, включенном компьютере, начинает мерцать светодиод «РС», на блоке АЦП.

Запись параметров в таблицу и построение графиков начинается автоматически после начала перемещения штока датчика перемещения, и заканчивается по возвращению в начальное положение. Для этого линию графического нижнего уровня пуансона надо установить на желаемой

отметке. Перемещение линии осуществляется нажатием на левую кнопку «мыши» и установке линии на требуемый уровень.

После проведения эксперимента панель OMD приобретает вид, согласно рисунка 5:

- верхний график (зеленый цвет) зависимость изменения длины от времени
- средний график (красный цвет) зависимость прилагаемой силы от времени
- нижний график (синий цвет) зависимость изменения длины от приложенной силы.

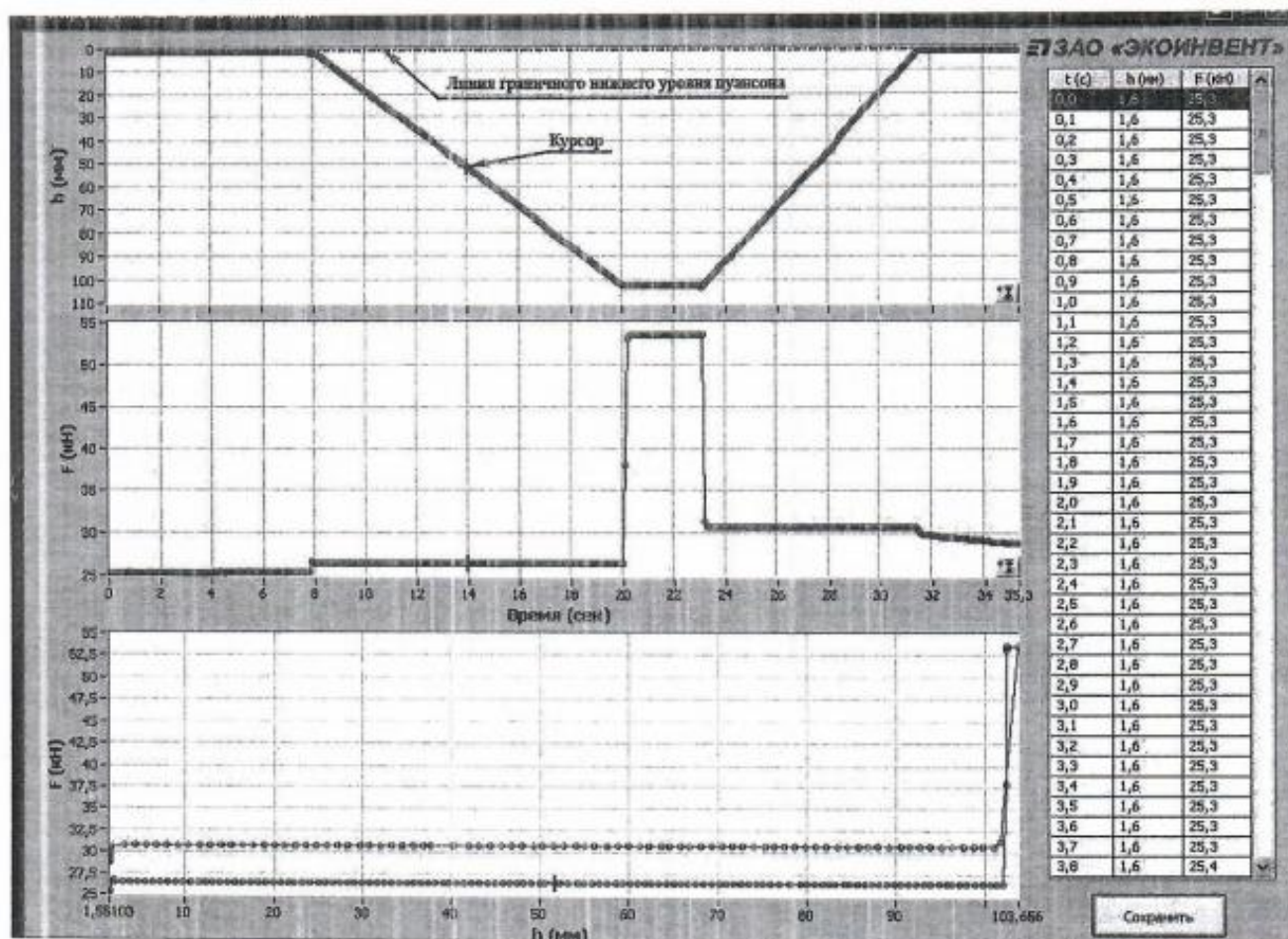


Рисунок 1.5

При необходимости узнать точное значение какого-либо параметра на графике, требуется подвести курсор с помощью «мыши». В центре верхнего графика появится перекрестие «Курсора», а в таблице выделится строка соответствующих значений. «Курсор» можно передвигать вдоль оси «Время» с помощью «мыши», либо, выделяя определенную строку в таблице.

Для сохранения результатов необходимо нажать клавишу «Сохранить» в правом нижнем углу под таблицей на рабочем поле монитора (см. рисунок 1.6)



Рисунок 6

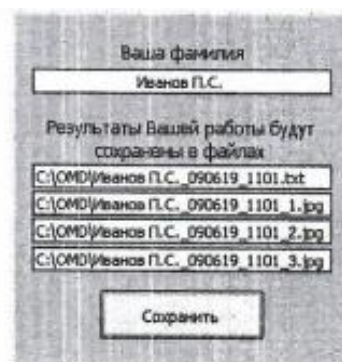


Рисунок 1.7

После выполнения данной операции, в центре монитора появится таблица, в которую необходимо занести фамилию и нажать клавишу сохранить (см. рисунок 1.7),

Результаты испытаний будут сохранены на диске C:\ в папке OMD под вашей фамилией.

Указания мер безопасности

К работе с установкой УИМ - 2 допускаются только лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия, программным обеспечением и мерами безопасности в соответствии с требованиями, изложенными в настоящем разделе.

Для подключения установки к электрической сети переменного тока напряжением 220 В должны использоваться только розетки с заземляющим

контактом, подключенным к общему контуру заземления, отвечающему требованиям «Правил устройства электроустановок».

При обнаружении повреждений изоляции соединительных проводов необходимо работу на установке немедленно прекратить и установку отключить от питающей сети.

Повторное включение установки в сеть переменного тока напряжением 220В разрешается только после устранения повреждений изоляции проводов или их замены.

Техническое обслуживание и ремонтные работы производить только после полного отключения установки от питающей сети переменного тока 220В.

При проведении испытаний разрешается пользоваться только испытательными образцами, которые оговорены в данной лабораторной работе.

Запрещается:

- проводить исследовательские работы, не убедившись в правильной установке, и надежной фиксации испытуемых образцов;
- проверять надежность соединения гидравлических шлангов, находящихся под давлением ;
- продолжать эксплуатировать установку в случае обнаружения каких-либо неполадок;

Хранение установки УИМ -2 допускается в закрытых помещениях при температуре от — 20 до + 40⁰ С, при отсутствии агрессивных паров и взвесей.

Лабораторная работа № 2

Исследование механических характеристик материала при испытании на растяжение

Испытание образцов на растяжение является одним из основных видов испытаний материалов, т.к. позволяет получить основные характеристики прочности и пластичности материала, по которым можно оценивать прочность различных материалов.

На любое механическое испытание разрабатывается ГОСТ, чтобы в различных лабораториях испытания проводились по одинаковой методике.

Испытание металлов на растяжение проводится по ГОСТ 1497-84 [1].

Цель работы

Получение диаграммы растяжения и исследование механических характеристик материалов, при растяжении.

Задачи работы

1. Изучение методики проведения испытаний на растяжение.
2. Построение диаграммы растяжения в координатах $F - \Delta l$.
3. Построение диаграммы условных напряжений в координатах $\sigma - \varepsilon$.
4. Вычисление характеристик прочности.
5. Вычисление характеристик пластичности.
6. Определить (предположительно) марку испытываемых образцов.
7. Выводы по работе.

Оборудование, инструменты

1. Испытательная машина (рисунок 2.1).
2. Образцы
3. Штангенциркуль.
4. Персональный компьютер (ноутбук)
5. Электронный блок.

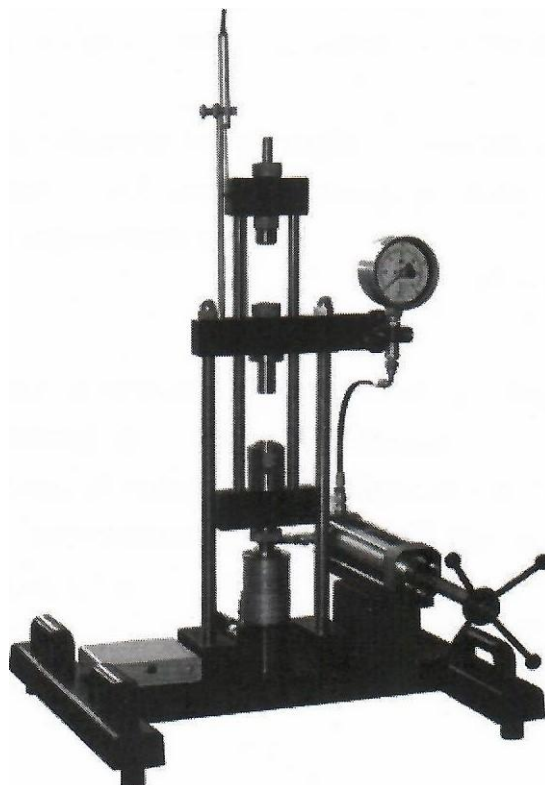


Рисунок 2.1 - Универсальная машина для исследования свойств материала

Образцы

Основным типом для испытания металлов на растяжение является цилиндрический образец диаметром d_0 и расчетной длиной l_0 . На концах образца для закрепления его в захватах испытательной машины делаются утолщения, так называемые, «головки». Для того, чтобы во время испытания «головки» не отрывались от образца, делается плавный переход от образца к «головкам». ГОСТом допускаются различные варианты перехода – рисунок 2.2 а, б, в.

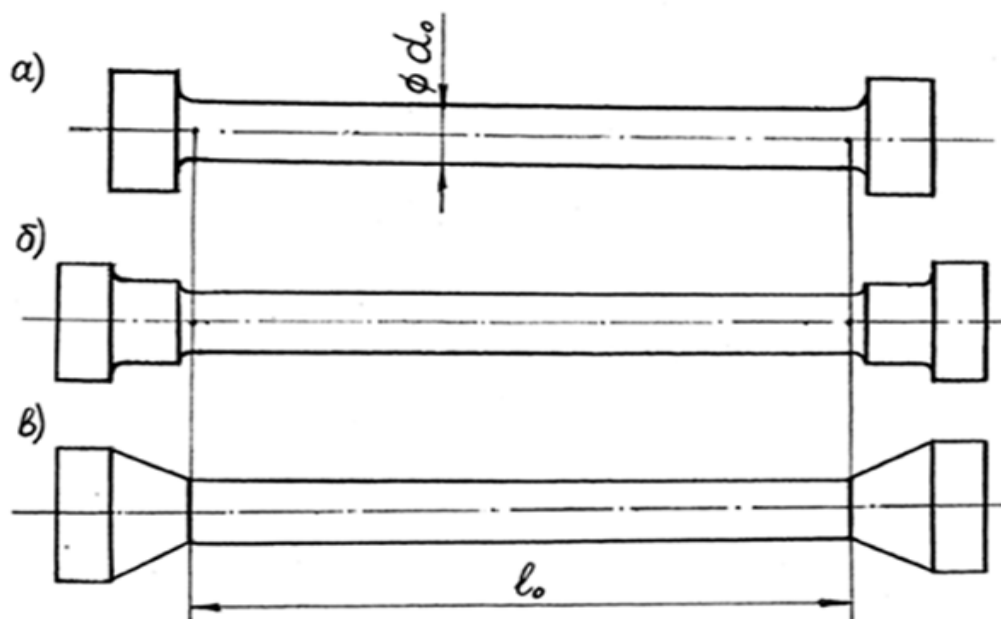


Рисунок 2.2 - Образцы для испытания

Основным является образец, для которого $l_0/d_0 = 10$.

Такие образцы называются «нормальными» или 10-кратными. Если по какой-то причине нельзя изготовить 10-кратный образец, то допускается, в виде исключения, использовать образцы с отношением $l_0/d_0 = 5$.

Такие образцы называются «укороченными» или 5-кратными.

Образцы с иным отношением l_0/d_0 для испытания использовать **нельзя**. Более того, если для испытания использовались «укороченные» образцы, то это **обязательно** нужно отразить в протоколе испытания, т.к. некоторые механические характеристики зависят от длины образца.

Образцы вытачиваются на токарном станке.

Для определения механических характеристик материала тонких листов допускается использовать плоские образцы – рисунок 2.3. Образцы могут быть как «пятикратные», так и «десятикратные». При этом d_0 определяется как диаметр площади круга равновеликого площади поперечного сечения плоского образца – A_0 , т.е.

$$\frac{\pi d_0^2}{4} = A_0, \text{ откуда } d_0 = \sqrt{\frac{4A_0}{\pi}} = 1,13\sqrt{A_0}.$$

Тогда для плоского «десятикратного» образца $l_0 = 10d_0 = 11,3\sqrt{A_0}$, для плоского «пятикратного» – $l_0 = 5d_0 = 5,65\sqrt{A_0}$.

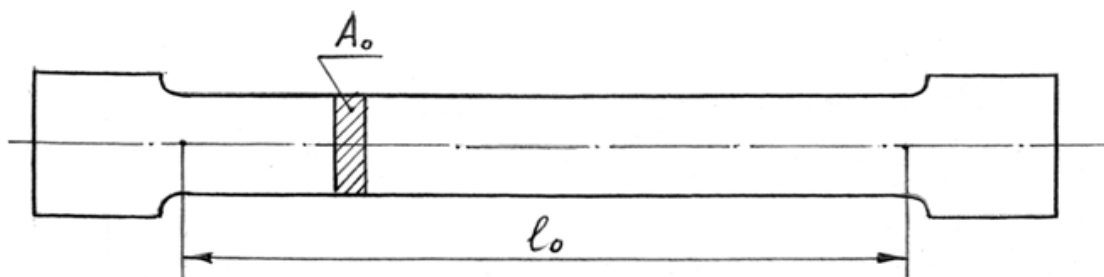


Рисунок 2.3 - Плоский образец

Диаграмма растяжения

Образец с помощью приспособлений устанавливается в захваты испытательной машины и нагружается растягивающей силой F до разрушения – рисунок 2.4.

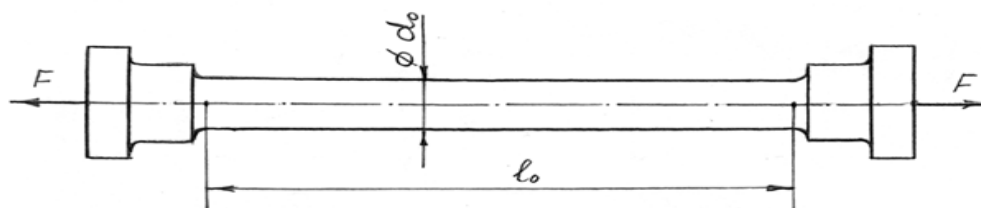


Рисунок 2.4 - Нагружение образца

Для малоуглеродистой стали диаграмма растяжения имеет вид, показанный на рисунок 2.5. На рисунке видно, что диаграмма имеет несколько характерных участков. На начальном этапе (до точки А) между прикладываемой силой и абсолютным удлинением образца имеет место пропорциональная зависимость. До точки А в образце возникают только упругие деформации, т.е. после снятия нагрузки деформации исчезают.

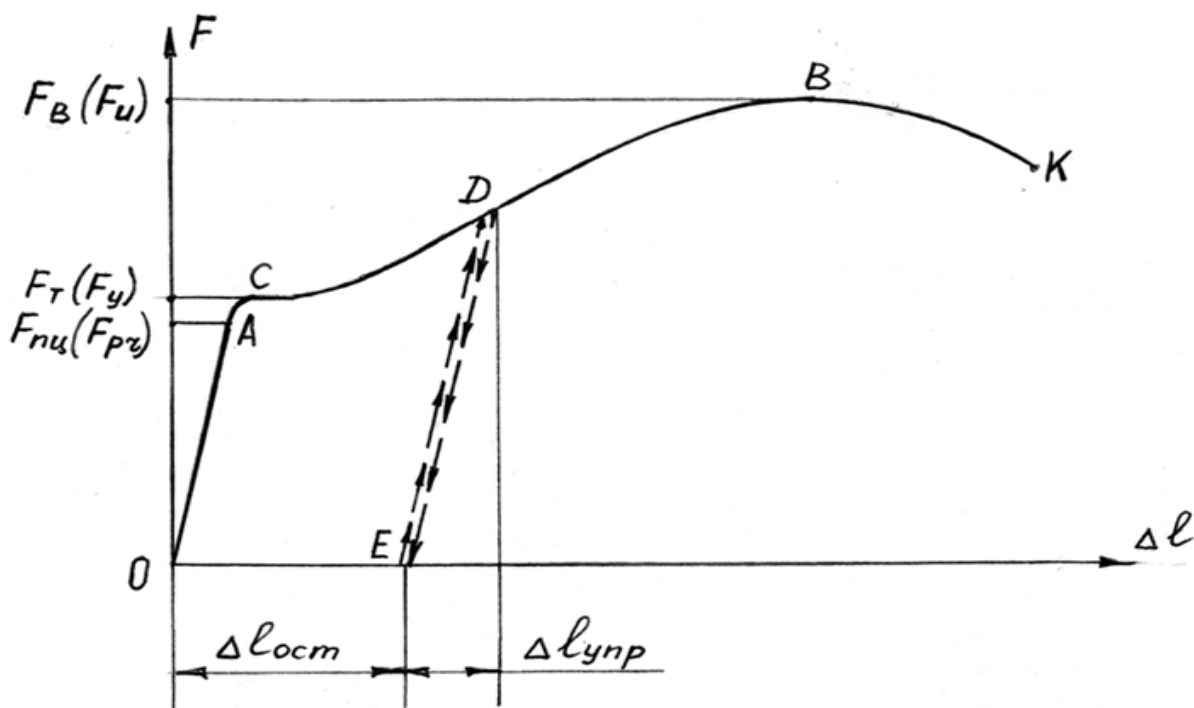


Рисунок 2.5 - Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

При нагружении образца силой большей $F_{mл}$ (F_{pr}) в образце возникают пластические деформации и линейная зависимость между силой F и абсолютным удлинением нарушается. При значении силы $F = F_T$ (F_y) образец удлиняется при практически постоянном значении силы. Такое явление называется текучестью материала, а участок – площадкой текучести.

При дальнейшем нагружении сила F начинает возрастать (материал упрочняется), достигает максимального значения F_B (F_u), затем начинает уменьшаться и, наконец, образец разрушается (точка K).

На рисунке 2.6 изображен образец перед разрушением.

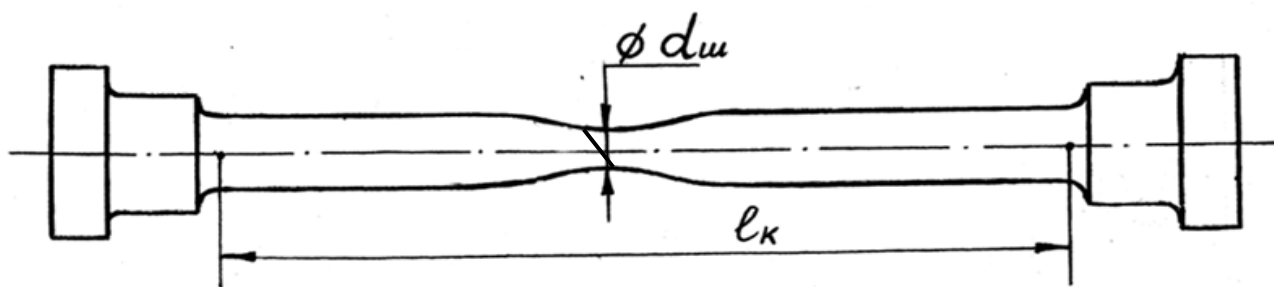


Рисунок 2.6 - Образец после разрушения

При нагружении образца до точки В образец деформируется равномерно по всей длине. В точке В на образце начинает образовываться, так называемая, «шейка», т.е. местное сужение. И хотя при этом прочность материала не уменьшается, за счет уменьшения площади сечения наблюдается уменьшение силы, воспринимаемой образцом (участок ВК на диаграмме – рисунок 2.5).

При нагружении образца силой большей $F_{пл}$ ($F_{пр}$) в образце помимо упругих возникают пластические деформации, т.е. деформации, которые остаются в образце после снятия нагрузки. Поэтому, если образец разгрузить, например, из точки Д, то исчезнут только упругие деформации ($\Delta l_{упр}$), а пластические ($\Delta l_{ост}$) останутся. Если образец нагрузить повторно, то нагружение сначала пойдет по линии «разгрузки» ЕД (как показано стрелками на рисунок 2.5), а затем продолжится по кривой ДВК. Линия ДЕ $\parallel$ ОА. Такое поведение материала при повторных нагружениях называется законом «разгрузки-нагрузки».

Диаграмма условных напряжений

Однако диаграмма растяжения не дает характеристик прочности и пластичности материала, т.к. сила F , выдерживаемая образцом, и величина абсолютного удлинения зависят не только от свойств материала, но и от линейных размеров образца. Поэтому диаграмму растяжения перестраивают в диаграмму условных напряжений в координатах $\sigma - \varepsilon$ – рисунок 2.7, где:

σ , ε – соответственно напряжение в точках сечения образца и относительное удлинение (продольная линейная деформация), обычно, в процентах:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%; \quad A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$$

A_0 – первоначальная площадь сечения образца.

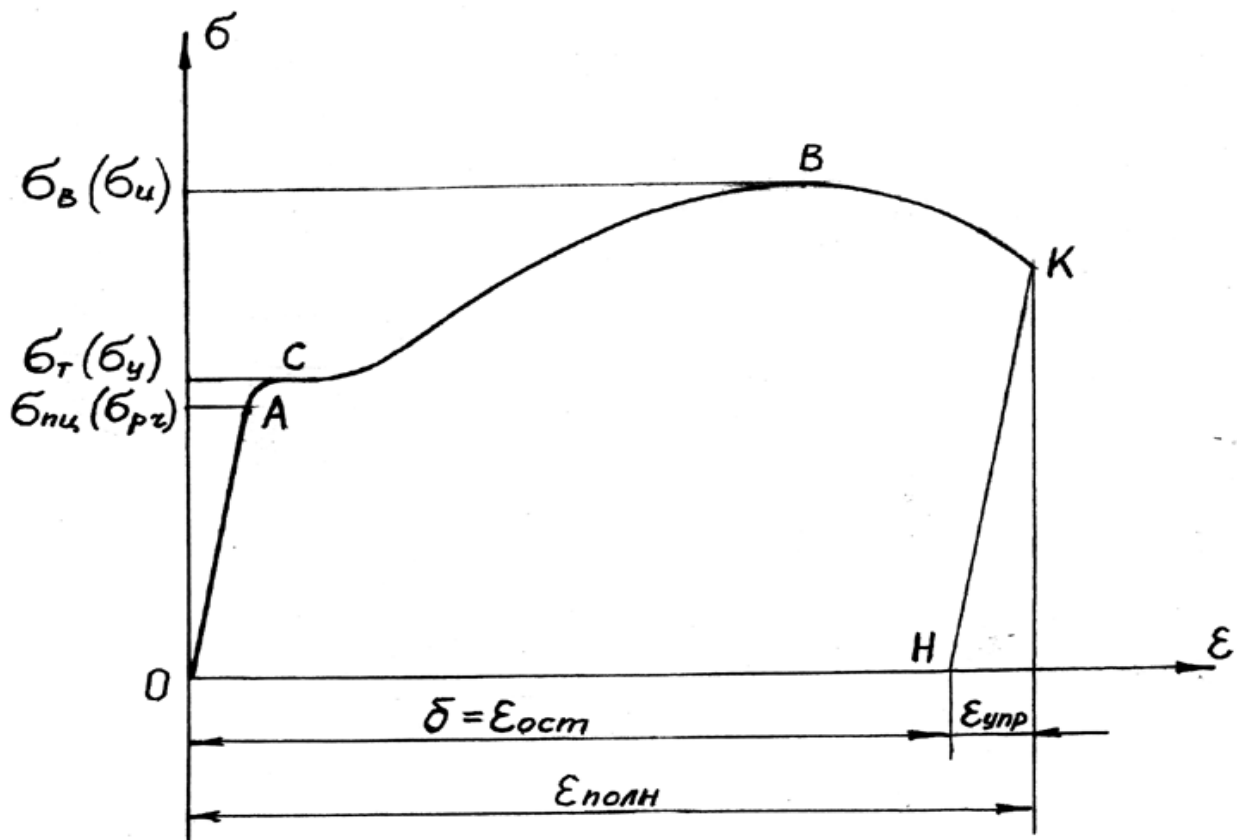


Рисунок 2.7 - Диаграмма условных напряжений

При вычислении напряжений σ уменьшение площади поперечного сечения образца, имеющее место при его растяжении, не учитывается, т.е. напряжения вычисляются условно. Это связано с тем, что при вычислении напряжений в деталях, изменение их размеров также не учитывается. Действительные напряжения в образце больше вычисленных.

$\sigma_{mц} = \frac{F_{mц}}{A_0}$ – называется пределом пропорциональности. Это максимальное

напряжение, до которого материал следует закону Гука. $\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}$ – предел текучести (физический). Это наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающего усилия.

$\sigma_B = \frac{F_B}{A_0}$ – предел прочности (временное сопротивление). Это напряжение,

соответствующее наибольшему усилию F_{max} , которое выдерживает образец до разрыва.

$\sigma_{mц}$, σ_T , σ_B называют характеристиками прочности материала, т.к. чем они больше, тем большую нагрузку выдерживает деталь при одних и тех же размерах сечения.

При испытании образцов на растяжение определяют также характеристики пластичности материала – рис. 5:

δ – относительное удлинение после разрыва;

ψ – относительное сужение после разрыва

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100\%;$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_{III}}{A_0} \cdot 100\%;$$

$$A_{III} = \frac{\pi d_{III}^2}{4}.$$

Величину δ можно определить также по диаграмме условных напряжений (рис. 6). Для этого нужно из точки К провести прямую КН $\parallel$ ОА. Отрезок ОН численно равен δ .

Подготовка к испытанию

Для проведения испытания на растяжения наиболее распространены два вида образцов:

- Цилиндрический (рисунок 2.8)
- Плоский (рисунок 2.9)



Рисунок 2.8 - Цилиндрический образец

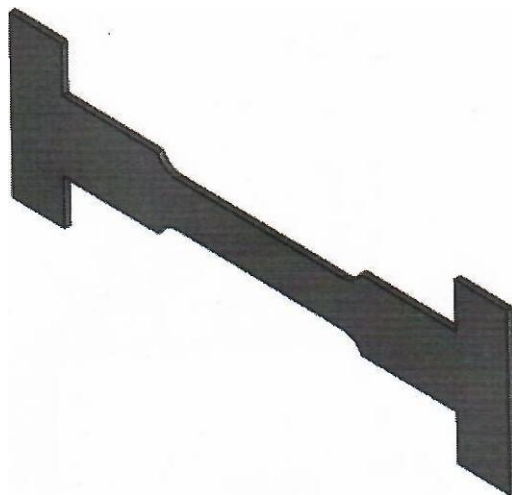


Рисунок 2.9 - Плоский образец

Рассмотрим случай растяжения цилиндрического образца. Для начала работы необходимо подготовить стенд, установив в него два зажимных патрона для цилиндрических образцов. Зажимной патрон устанавливаются в верхнюю и среднюю траверсу, и состоит из трех деталей изображенных на рисунке 2.10:

- Гайка

- Шпилька
- Гайка с резьбой для образца



Рисунок 2.10 — Детали зажимного патрона

Вставим шпильку в среднюю траверсу и закрутим с двух сторон гайками, так чтобы гайка с резьбой для образца оказалась сверху (рисунок 2.11).

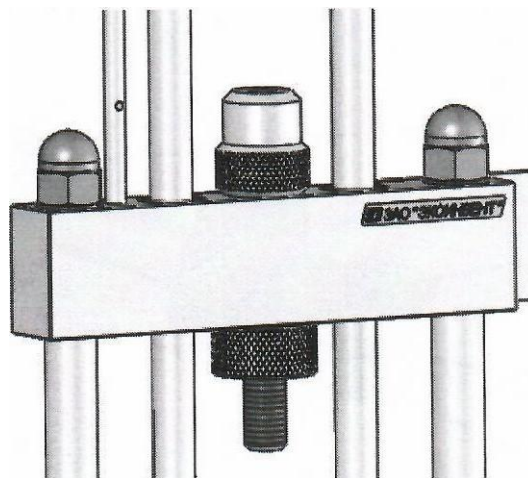


Рисунок 2.11 — Нижний патрон в сборе

Далее прикрутим образец к двум гайкам (рисунок 2.12). Образец нужно закручивать на всю длину резьбы и только до начала рабочего участка!

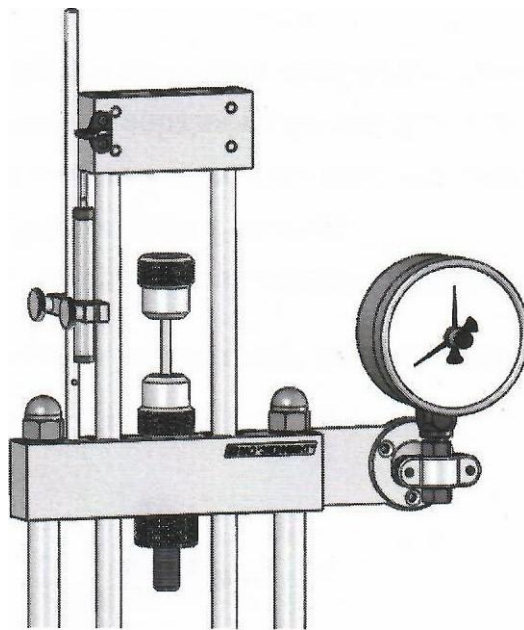


Рисунок 2.12 - Установленный образец

Завершим сборку собрав, аналогично нижнему патрону, верхний.

При испытании плоских образцов, необходимо использовать приспособления изображенные на рисунке 2.13.

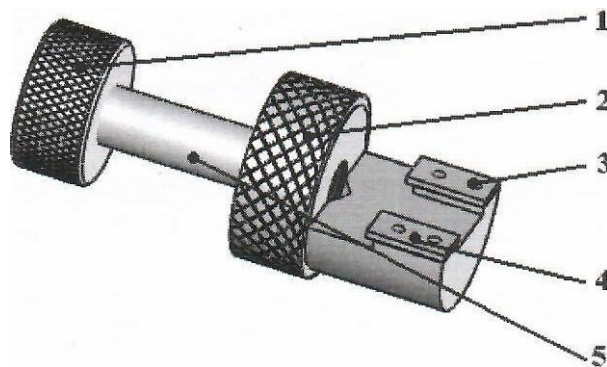


Рисунок 2.13 — Приспособление для плоских образцов.

Они состоят из гайки (1), штока (2), четырех винтов (3), двух пластин(4) и шпильки (5). Порядок сборки следующий:

1. Установите шток в среднюю траверсу и прикрутите его гайкой
2. Установите шток в верхнюю траверсу и прикрутите его гайкой
3. Открутите на винты удерживающие пластины
4. Вставьте образец в пазы в штоках

5. Зафиксируйте образец пластинами, прижав их винтами.

В итоге должна получиться конструкция, изображенная на рисунке 2.14.

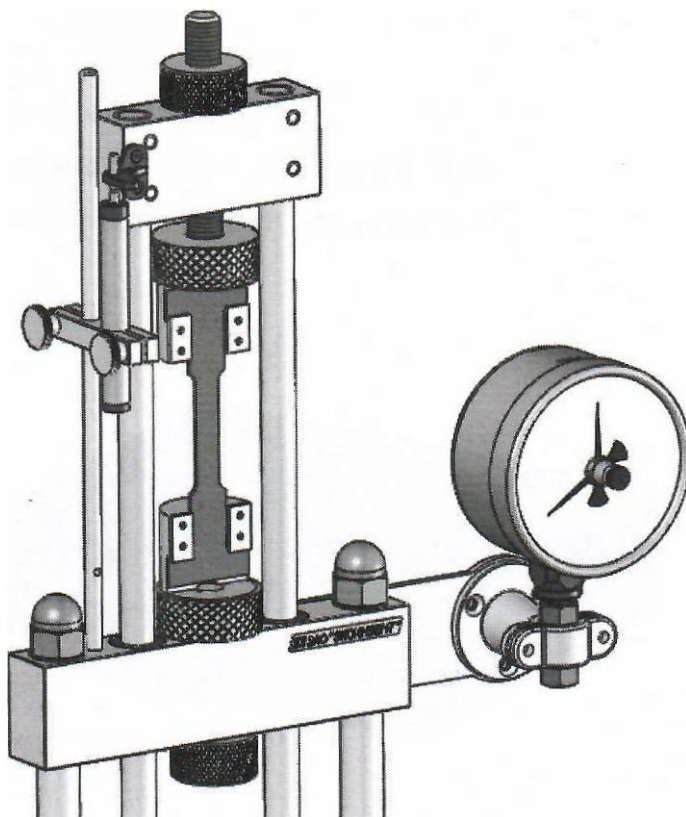


Рисунок 2.14 — Собранный стенд для испытания плоских образцов на растяжение

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15— Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем

специальный электронный блок, изображенный на рисунке 2.16.

Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления
- Датчик перемещения
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V
- Компьютер USB-проводом в разъем PC



Рисунок 2.16 — Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При испытании на растяжение верхняя траверса перемещается вверх, растягивая образец и выдвигая стержень из датчика. Сам датчик закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 2.17).

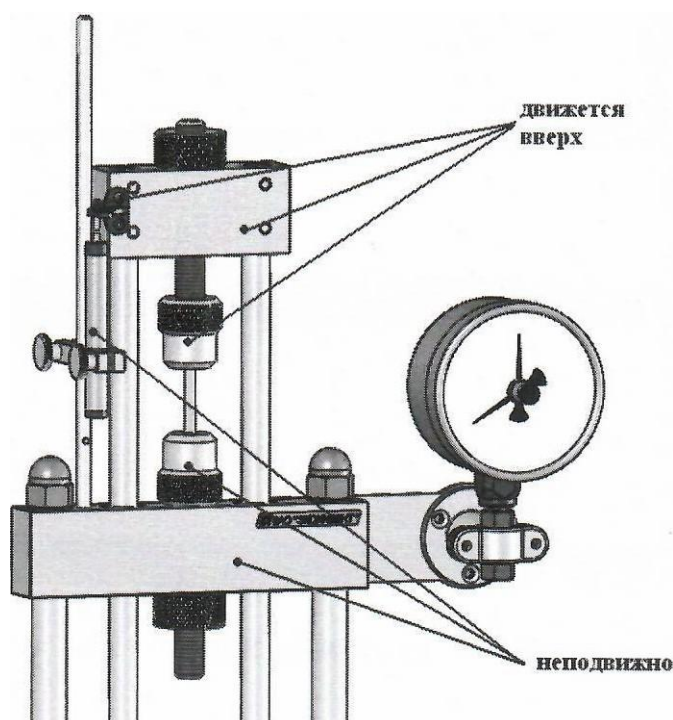


Рисунок 2.17— Направления перемещения частей стенда при растяжении

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стендом (рисунок 2.18). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствии чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

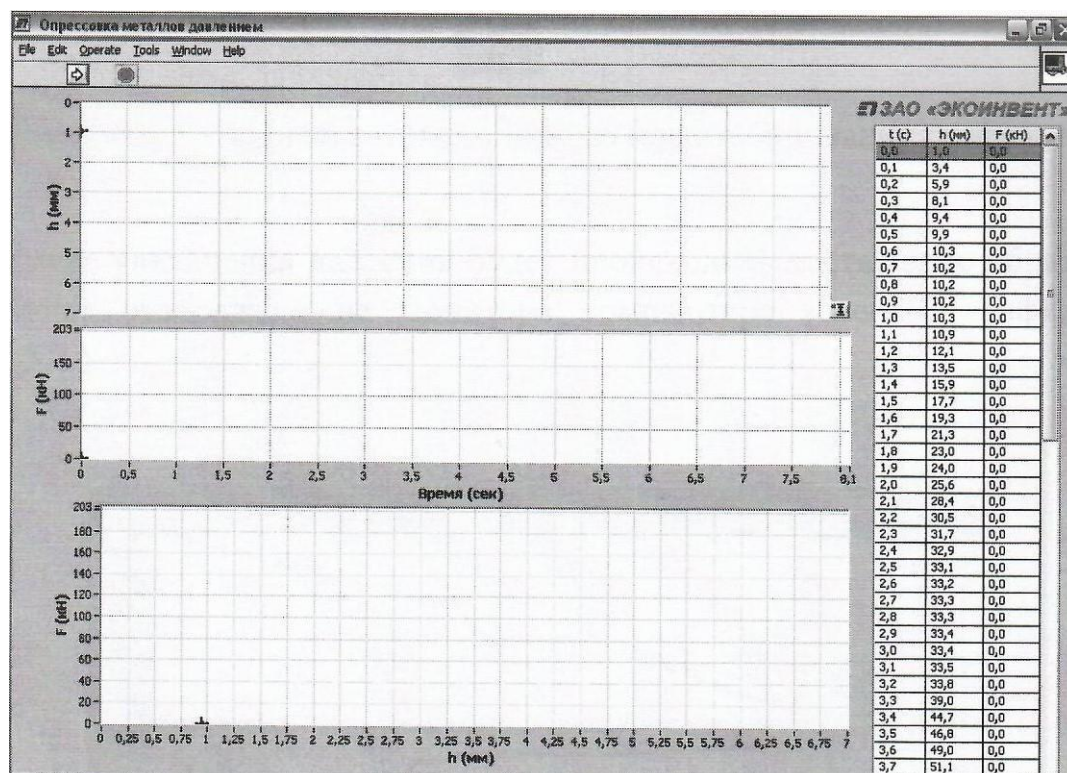


Рисунок 2.18 — Вид программы для работы со стендом

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

Проведение испытания

Основной задачей будет плавное повышение приложенной к образцу растягивающей силы. Для этого необходимо повышать давление в гидравлической системе. Повышение давление происходит путем вращения по часовой стрелке штурвала стенда.

Приложенная растягивающая сила будет отображаться на мониторе красным графиком. В случае выхода графика за пределы шкалы, следует

нажать кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков и изображена.

По мере увеличения давления будет происходить растяжение образца. Что и будет отображено на мониторе компьютера зеленым графиком (рисунок 2.19).

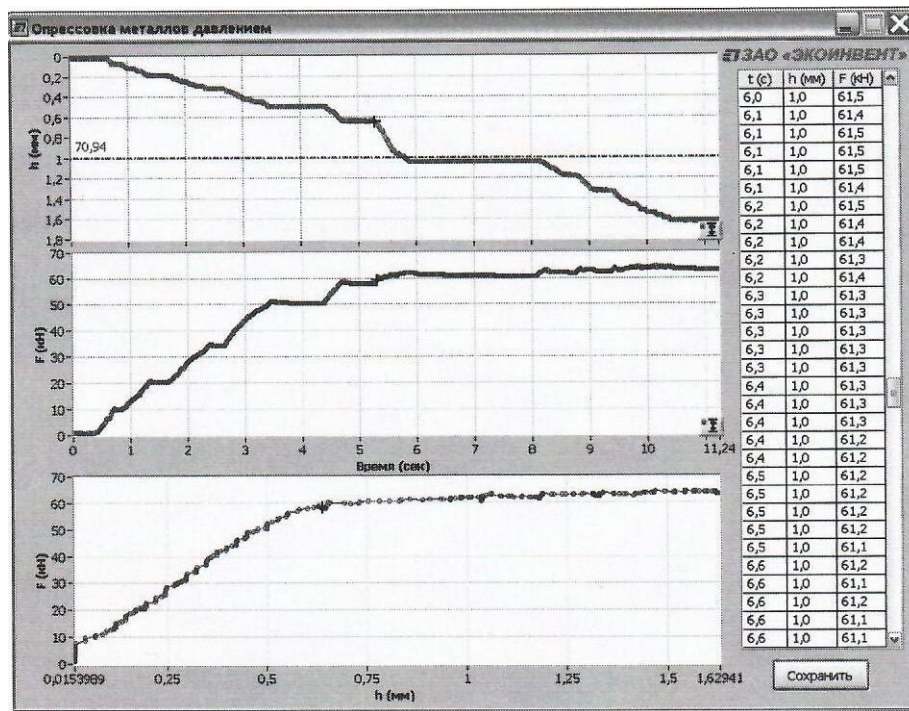


Рисунок 2.19 - Окно программы во время проведение испытания

На синем графике будем наблюдать диаграмму растяжения в зависимости от приложенной силы.

Имея датчик давления, можно подсчитать приложенную силу воспользовавшись формулой:

$$F=P \times A \quad (2.1)$$

Здесь P — давление в системе, A - площадь поршня толкающего нижнюю траверсу и равна $1,257 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Обработка результатов испытания

После испытания образца строим диаграмму растяжения рисунок 2.20.

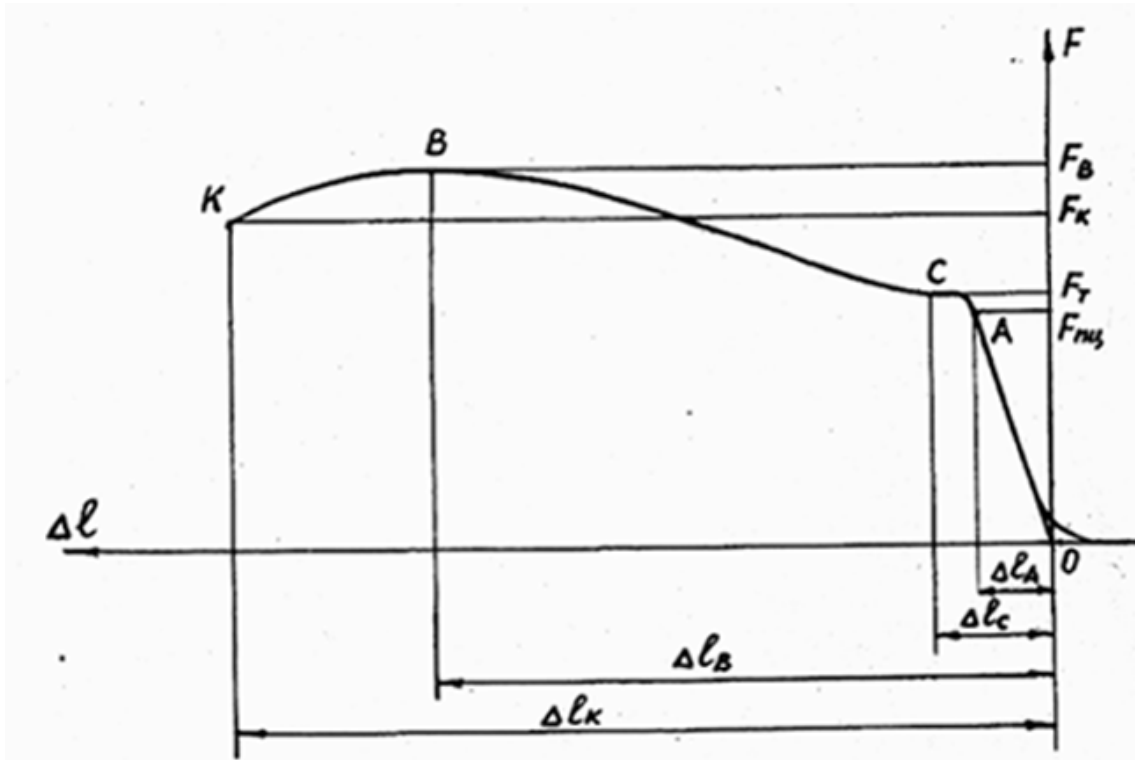


Рисунок 2.20 Обработка машинной диаграммы

Через самую нижнюю точку кривой с помощью линейки и карандаша проводим горизонтальную линию, которую принимаем за ось Δl . Наклонную прямую продолжаем до пересечения с линией Δl . Точку их пересечения (O) принимаем за начало координат. Из точки O проводим прямую $\perp$ оси Δl (ось ординат) для определения силы F .

На кривой отмечаем положение характерных точек A, C, B, K, как показано на рисунок 2.20, и их координаты F_i и Δl_i .

Вычисление характеристик прочности и построение диаграммы условных напряжений.

Вычисляем первоначальную площадь образца A_0

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$$

Затем вычисляем характеристики прочности материала:

$$\sigma_{mц} = \frac{F_{mц}}{A_0} - \text{предел пропорциональности.}$$

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0} - \text{предел текучести.}$$

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_0} - \text{предел прочности (временное сопротивление).}$$

Определяем остальные величины, необходимые для построения диаграммы условных напряжений.

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A_0}$$

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta l_A}{l_0} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_C = \frac{\Delta l_C}{l_0} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta l_B}{l_0} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_K = \frac{\Delta l_K}{l_0} \cdot 100\%$$

Выбираем масштабы μ_σ и μ_ε и строим диаграмму условных напряжений.

Вычисление характеристик пластичности материала.

Используя результаты испытания вычисляем

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100\% - \text{относительное удлинение после разрыва}$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_{III}}{A_0} \cdot 100\% - \text{относительное сужение после разрыва.}$$

Для проверки вычисляем δ по диаграмме условных напряжений. Для этого проводим прямую $KH \parallel OA$ и измеряем отрезок $OH - l_{OH}$ (рисунок 9.1)

$$\delta = \mu_\varepsilon \cdot l_{OH}$$

Форма отчета

1. Название лабораторной работы.
2. Цель проведения лабораторной работы.
3. Задачи, решаемые при проведении лабораторной работы.
4. Используемые инструменты и испытательная машина.
5. Образец до испытания и после испытания в масштабе с указанием основных размеров – d_0 , l_0 , d_{III} и l_K .
6. Все вычисления для построения диаграммы растяжения и диаграммы условных напряжений.
7. Диаграмма растяжения и диаграмма условных напряжений в масштабе.
8. Характеристики прочности материала образца.
9. Характеристики пластичности материала.
10. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения называется растяжением?
2. Какие напряжения возникают в сечении при растяжении?
3. Что называется диаграммой растяжения?
4. Как получить диаграмму условных напряжений?
5. Для чего нужна диаграмма условных напряжений?
6. Назовите основные механические характеристики прочности.
7. Дайте определение пределов пропорциональности, текучести, прочности.
8. Сформулируйте закон Гука.
9. Когда начинается образование «шейки»?
10. Что такое упругая и пластическая (остаточная) деформации?
11. Когда возникает остаточная деформация?
12. Что такое напряжение и линейная деформация?
13. Назовите характерные участки диаграммы растяжения.
14. Назовите характеристики пластичности.

15. Дайте определения, что такое относительное удлинение после разрыва, относительное сужение после разрыва.

16. Как ведет себя сталь при разгрузке и повторной нагрузке?

17. Какие бывают образцы для испытаний на растяжение?

18. Какие образцы называются «нормальными» и какие «укороченными»?

19. Что такое расчетная длина образца?

Лабораторная работа № 3

Испытание на сжатие различных материалов

Цель работы

Получение диаграммы растяжения и исследование механических характеристик материалов при испытании на сжатие.

Задачи работы

1. Определить механические характеристики полимерных материалов и дерева при сжатии.
2. Определить коэффициент анизотропии прочностных свойств дерева.

Оборудование, инструмент

1. Образцы: при испытаниях на сжатие необходимо осуществить приложение сжимающей нагрузки строго по оси образца. Во избежание искривления образца, т.е. потери им устойчивости при продольном сжатии, металлические образцы изготавливаются в виде цилиндров диаметром $d = 10-25\text{мм}$ и высотой $h \leq 3d$, образцы из неметаллов (дерево, бетон) изготавливают кубической формы с длиной ребра от 20 до 50 мм
2. Испытательная машина: лабораторная установка для испытаний материалов УИМ – 2 ПС.
3. Измерительный инструмент: штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм.
4. Персональный компьютер (ноутбук)



Рисунок 3.1 – Универсальная машина для исследования свойств материала
УИМ – 2 ПС

Теоретические основы

Для пластичных материалов (сталь, алюминий, медь и др.) испытания на сжатие являются дополнением к испытаниям этих материалов на растяжение. Хрупкие материалы (чугун, бетон) на сжатие работают значительно лучше, чем на растяжение, и обычно используются в сжатых элементах конструкций. Поэтому для хрупких материалов испытания на сжатие являются основными. При сжатии образца вдоль оси силой F (рисунок 3.2, а) в его поперечных сечениях возникают нормальные напряжения (рисунок 3.2, б), которые определяются по формуле: $\sigma = \frac{N}{A_0}$

где A_0 - площадь поперечного сечения образца до испытания,

$N = F$ - нормальная сила в сечении.

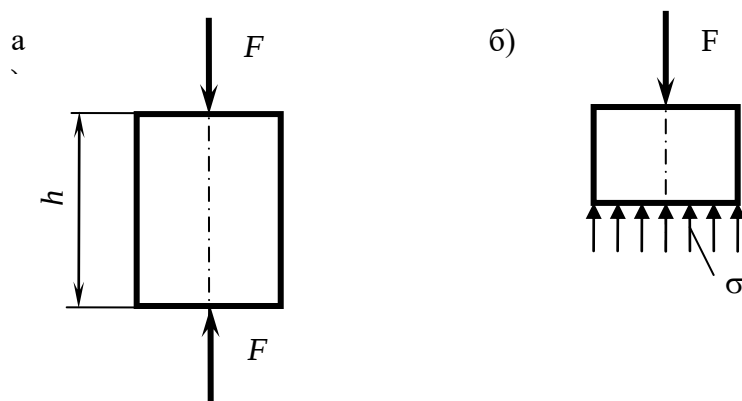


Рисунок 3.2 - Распределение напряжений в сечении образца

При испытаниях на сжатие определяются в основном две механические характеристики: предел текучести σ_T (для пластичных материалов) и предел прочности σ_B (для хрупких материалов)

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}; \quad \sigma_B = \frac{F_B}{A_0}$$

где : F_T - усилие, соответствующее текучести материалов;

F_B - максимальное усилие, при котором образец разрушается.

Результаты испытаний на сжатие зависит от условий проведения опыта. Практически очень трудно добиться приложения сжимающей силы точно по оси образца. Поэтому образец не только сжимается, но и изгибается. Чем длиннее образец, тем больше влияние изгиба. Для уменьшения этого влияния образцы делают высотой не больше двух диаметров. На контактных поверхностях между образцом и плитами машины возникает трение, которое уменьшает поперечные деформации образца у его торцов, вследствие чего он принимает бочкообразную форму (рисунок 3.3, а). Чтобы трение не очень существенно влияло на поведение материала, образцы изготавливаются высотой не менее одного диаметра. Для уменьшения сил трения между образцом и плитами машины применяют различные смазочные материалы или используют образцы более сложных форм, например, с входящими конусами (рисунок 3.3, б), в которых угол α зависит от коэффициента трения образца по плитам машины (рисунок 3.3, б).

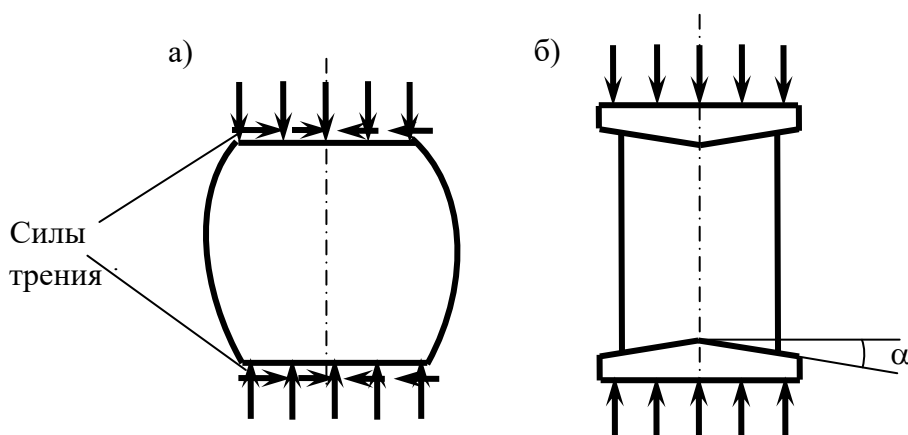


Рисунок 3.3 - Образцы с гладкими торцами (а) и с входящими конусами (б)

Порядок проведения испытаний

Нарисовать эскизы образцов до испытания, измерить основные размеры образцов: высоту и диаметр образцов цилиндрической формы; длину, ширину и высоту деревянных образцов и записать в таблицу.

Сжатие изотропного пластичного материала (сталь)

Образец помещают между плитами испытательной машины и постепенно статически нагружают непрерывно возрастающей нагрузкой. Пишущий прибор при этом вычерчивает диаграмму сжатия в координатных осях: нагрузка (F) - абсолютная деформация Δl (рисунок 3.4), начало которой представляет прямую OA , выражающую прямолинейную зависимость между нагрузкой и абсолютной деформацией.

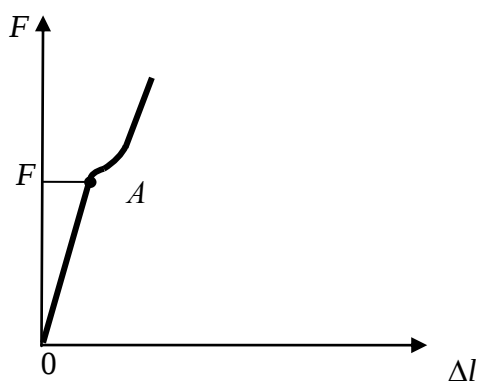


Рисунок 3.4 - Диаграмма сжатия пластичного материала (сталь)

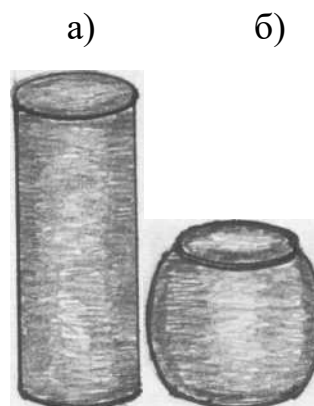


Рисунок 3.5 - Характер деформации пластичного материала (сталь):

- а) вид образца до деформации,
- б) вид образца после деформации

Кратковременная остановка стрелки силоизмерительного прибора испытательной машины или замедление скорости ее движения указывают на то, что материал образца начал пластически деформироваться. Нагрузка, зафиксированная в этот момент, есть нагрузка, соответствующая пределу текучести F_T . При дальнейшем нагружении образец значительно деформируется

(рисунок 3.5), происходит значительное увеличение поперечного сечения образца.

Увеличивающееся поперечное сечение приобретает способность выдерживать всё большую нагрузку, чем и объясняется характер диаграммы (рисунок 3.4): кривая всё время идет вверх. Разрушить образец из пластичного материала невозможно, поэтому предел прочности при сжатии стали не может быть определен, испытания прекращают при достижении нагрузки в 3-5 раз превышающей F_T .

Сжатие изотропного хрупкого материала (чугун)

Испытание проводят в той же последовательности, как для стального образца. Диаграмма сжатия, полученная при испытании чугуна, будет иметь вид, показанный на рисунок 3.6.

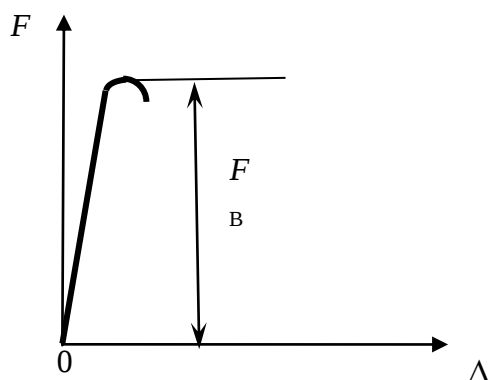


Рисунок 6 Диаграмма сжатия хрупкого материала (чугун)

а)



б)



Рисунок 3.7 Характер разрушения хрупкого материала (чугун):

а) вид образца до деформации,

б) вид образца после деформации

От начала координат диаграмма идет практически по прямой линии: нагрузка интенсивно растет, а деформации незначительны. Затем, всё более искривляясь, диаграмма достигает максимума и резко обрывается: нагрузка, достигнув разрушающего значения F_B , быстро падает — прочность образца

исчерпана. Разрушение чугуна происходит внезапно. Образец разрушается по сечению, расположенному примерно под углом 45° к оси образца. (рисунок 3.7).

Сжатие дерева вдоль и поперек волокон.

Дерево является анизотропным материалом, то есть имеет разные свойства в разных направлениях. Поэтому испытания, как правило, проводятся вдоль и поперек волокон.

Испытание проводится в той же последовательности, что и предыдущие. Диаграмма сжатия дерева вдоль волокон напоминает диаграмму сжатия хрупкого материала (рисунок 3.8).

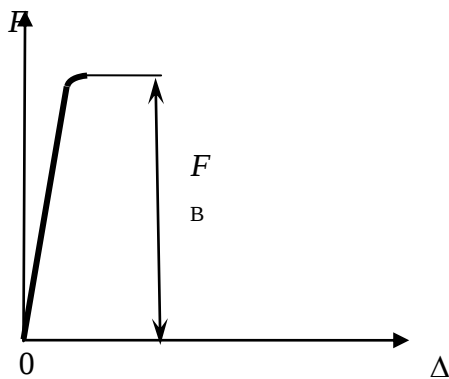


Рисунок 3.8 Диаграмма сжатия дерева вдоль волокон

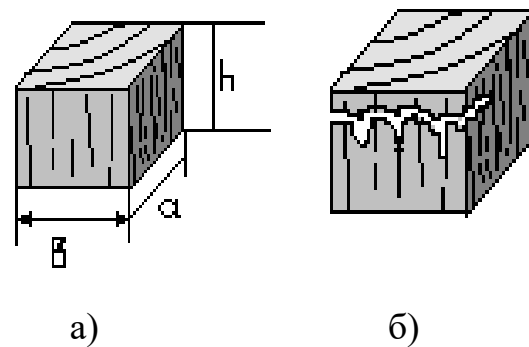


Рисунок 3.9 Характер разрушения дерева вдоль волокон:

- а) вид образца до деформации,
- б) вид образца после деформации

Из диаграммы видно, что до разрушения в образце возникают сравнительно небольшие остаточные деформации (диаграмма мало отклоняется от оси сил). После достижения наибольшей сил F_B начинается разрушение с уменьшением нагрузки. Обычно разрушение происходит с образованием поперечных складок и обмятием торцов (рисунок 3.9).

Диаграмма сжатия дерева поперек волокон напоминает диаграмму сжатия пластичного материала (рисунок 3.10). Сначала диаграмма идет по наклонной прямой-образец деформируется упруго. Резкое замедление движения или

остановка стрелки силоизмерительного прибора испытательной машины свидетельствует о том, что образец начал пластически деформироваться. Эта нагрузка соответствует пределу текучести F_T . Дальнейшая деформация образца происходит почти без увеличения нагрузки, но, при отсутствии пороков в образце, разделение его на части не происходит, он лишь спрессовывается. Значительный рост деформаций без увеличения нагрузки свидетельствует о том, что прочность образца исчерпана. Поэтому испытания дерева поперек волокон прекращают, если кубик сжался на 1/3 своей первоначальной высоты (рисунок 3.11).

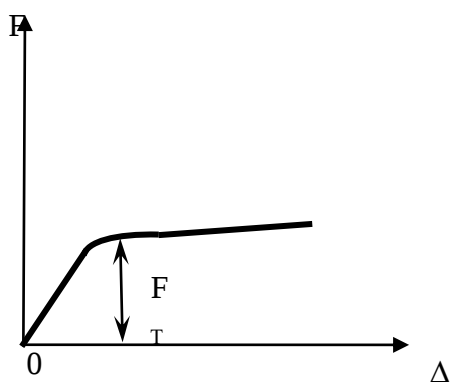


Рисунок 3.10 Диаграмма сжатия дерева поперек волокон

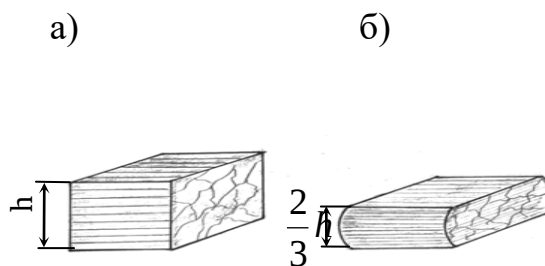


Рисунок 3.11 Характер деформации дерева поперек волокон:

- а) вид образца до деформации,
- б) вид образца после деформации

Свойства дерева вдоль и поперек волокон различны. Отношение предельных механических характеристик материала вдоль волокон и поперек волокон называется коэффициентом анизотропии для дерева K .

$$K = \sigma_L \text{ вдоль волокон} / \sigma_L \text{ поперек волокон},$$

где σ_L — предельная механическая характеристика материала.

Подготовка к лабораторной работе

1. Изучить методические указания к лабораторной работе.
2. Записать тему, цель, задачи работы и оборудование.
3. Начертить таблицу первичных данных и результатов испытаний.

Подготовка к испытанию

Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой. Начните сборку с установки двух плит, между которыми зажимается образец. Плита с вкрученной в нее шпилькой изображена на рисунке 3.12.

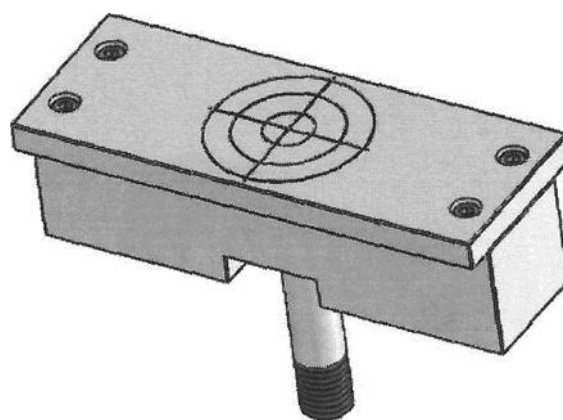


Рисунок 3.12 - Плита

Две плиты необходимо установить в нижнюю и среднюю траверсу и прикрутить гайками, так как показано на рисунке 3.13.

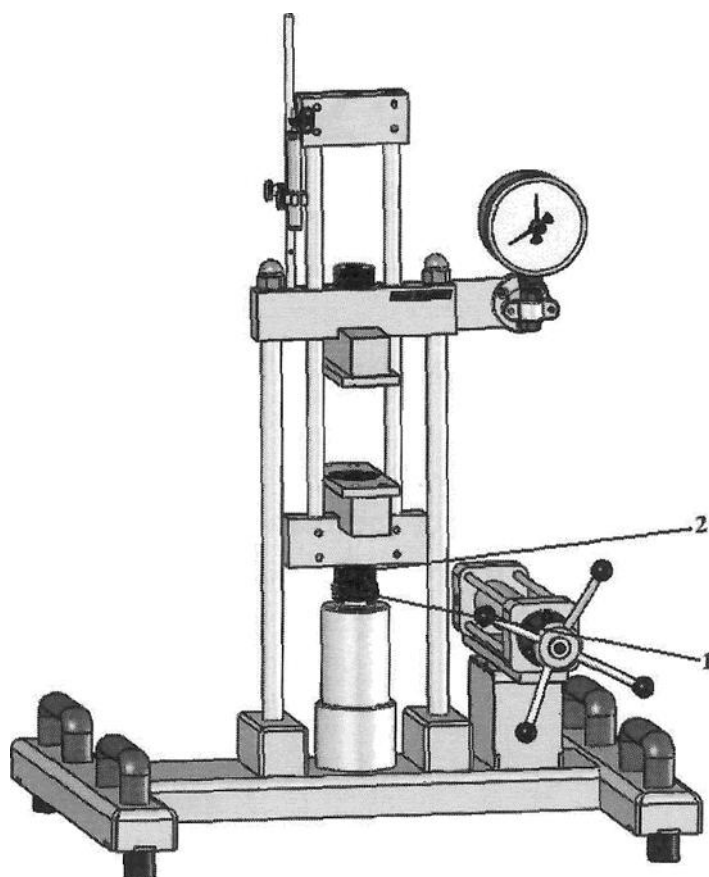


Рисунок 3.13 – Стенд в сборе

В случае если расстояние между плитами слишком большое, то для удаления зазора, можно выкрутить упорный винт 1, либо вместо гайки 2 прикрученной к нижней плите, прикрутить вытянутую гайку, изображенную на рисунке 3.14.

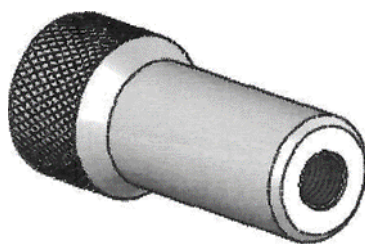


Рисунок 3.14 – Вытянутая гайка

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 - Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжение. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 3.16. Подключить к нему следующие устройства:

- Датчик давления
- Датчик перемещения
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V
- Компьютер USB-проводов в разъем PC

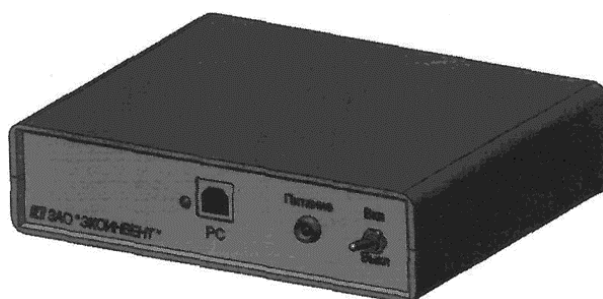


Рисунок 3.16 – Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведения лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При испытании на сжатие нижняя и верхняя траверсы, перемещается вверх, сжимая образец между плитами. Датчик перемещения закреплён неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 3.17). А стержень датчика в свою очередь закреплён за верхнюю траверсу, и движется вместе с ней.

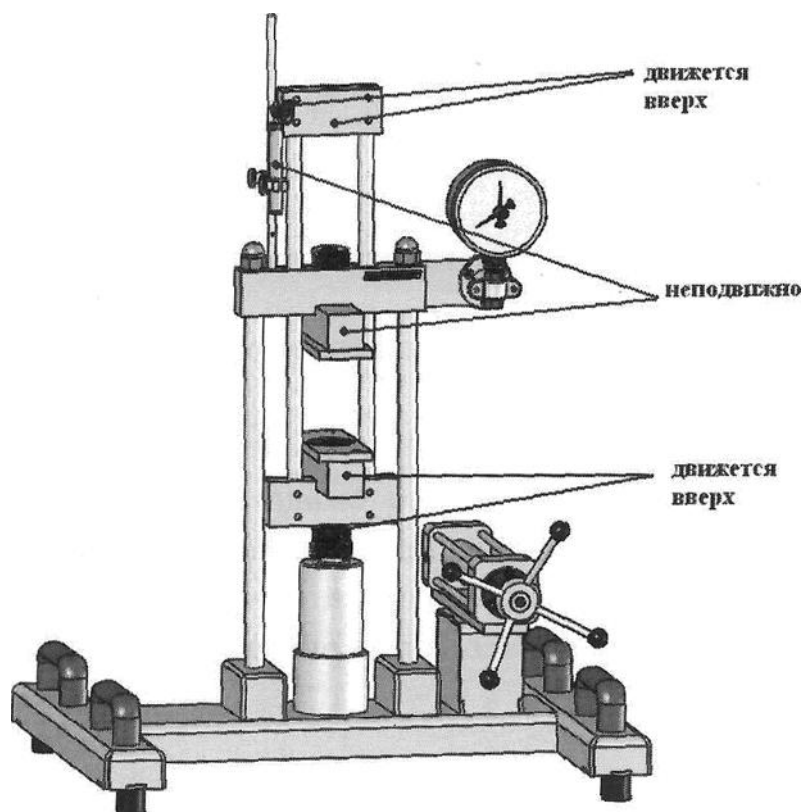


Рисунок 3.17 - Направления перемещения частей стенда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стендом (рисунок 3.18). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствии чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

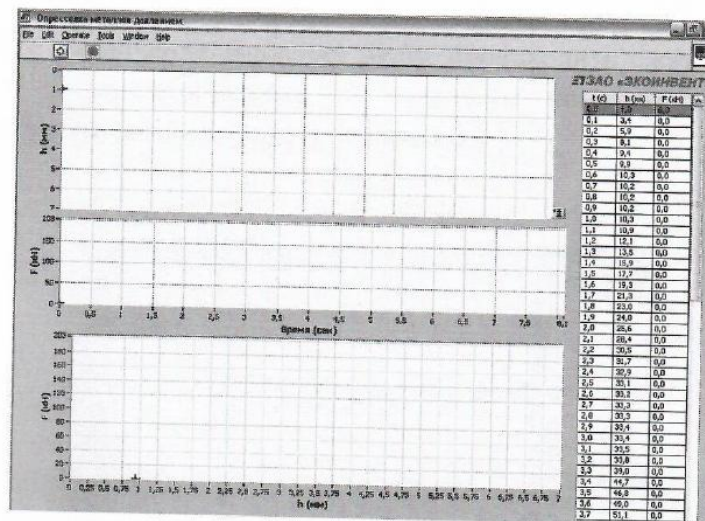


Рисунок 3.18 – Вид программы для работы со стендом

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

Проведение лабораторной работы

Произвести замеры испытуемого образца. Установить образец на нижнюю, подвижную плиту (рисунок 3.12).

Основной задачей будет главное повышение прилагаемой к образцу силы сжатия. Для этого необходимо повышать давление в гидравлической системе. Повышение давление происходит путем вращения по часовой стрелке штурвала стенда.

Приложенная сила сжатия будет отображаться на мониторе красным графиком. В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков.

По мере увеличения давления будет происходить сжатие образца. Что и будет отображено на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 3.19).

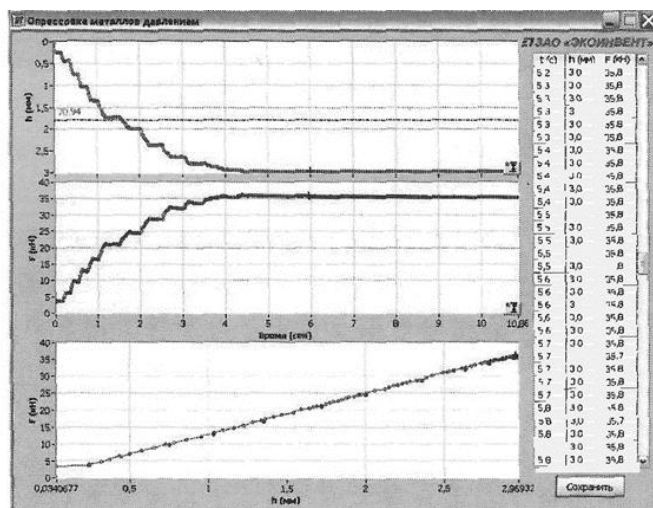


Рисунок 3.19 – Внешний вид программного обеспечения

На синем графика будем наблюдать диаграмму сжатия в зависимости от приложенной силы.

Нагрузив до заданной силы, и сняв показания с датчика перемещения, образец необходимо разгрузить, вращая штурвал против часовой стрелки до освобождения испытуемого образца. Снять образец с подвижной плиты. Произвести замеры испытуемого образца.

Имея датчик давления, можно подсчитать приложенную силу воспользовавшись формулой:

$$F = P \cdot A \quad (3.1)$$

Здесь P - давление в системе, A – площадь поршня толкающего нижнюю траверсу и равна $1,257 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Форма отчета

Лабораторная работа № 3

Тема:

Цель работы:

Задачи работы:

Используемое оборудование:

Таблица первичных данных и результатов испытаний (таблицы 3.1 – 3.2)

Выводы по работе:

1) описание поведения анизотропного материала и характера разрушения пластичных и хрупких материалов;

2) указание предельной механической характеристики для пластичного и хрупкого материалов.

Контрольные вопросы

1. Какие напряжения возникают в поперечном сечении сжатого образца и как определить их величину?

2. Какие механические характеристики определяются при сжатии хрупкого материала?

3. Какие механические характеристики определяются при сжатии пластичного материала?

4. Какой материал называют анизотропным?

5. Как ведет себя пластичный материал при сжатии и как хрупкий?

6. Какой вид имеет диаграмма сжатия для пластичного материала и какой вид для хрупкого?

7. Каков характер разрушения при сжатии различных материалов?

8. Как выглядят диаграммы растяжения хрупкого и пластичного материала? Что для них характерно?

9. Как происходит подготовка стенда к работе?

10. В чем заключается проведение лабораторной работы?

Литература

1. Сопротивление материалов. Учебник для вузов Г.С.Писаренко, В. А. Агаев и др.; под общей редакцией Г.С. Писаренко. Киев: “Вища школа”, 1986. 775с.

2. Афанасьев А.М., Марьин В.А. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов. М., “Наука”, 1975. 287с.

3. Ермаков В.И., Минин Л.С, Лабораторный практикум по сопротивлению материалов. М., “Высшая школа”, 1961. 186с.

Таблица первичных данных

Материал	Вид образца до испытания	Размеры образца до испытания, мм
Полимер белый		$d =$ $h =$ $A_0 =$
Полимер прозрачный		$d =$ $h =$ $A_0 =$
Дерево вдоль волокон		$a =$ $b =$ $h =$ $A_0 =$
Дерево поперек волокон		$a =$ $b =$ $h =$ $A_0 =$

Таблица данных осле испытания и результаты

Материал	Размеры образца после испытания, мм	Вид образца после испытания	Нагрузки, кГ , напряжения, кГ/мм ²
Полимер белый	$d =$ $h =$ $A_0 =$		F_T σ_T
Полимер прозрачный	$d =$ $h =$ $A_0 =$		F_B σ_B
Дерево вдоль волокон	$a =$ $b =$ $h =$ $A_0 =$		F_B σ_B
Дерево поперек волокон	$a =$ $b =$ $h =$ $A_0 =$		F_T σ_T

Лабораторная работа № 4

Испытание материала на срез

Цель работы

Определение предела прочности материала при срезе и сравнение его с пределом прочности при разрыве.

Задачи работы

1. Определить предела прочности материала при срезе.
2. Полученное значение срезающего напряжения выносливости сравнить с полученным напряжением выносливости при растяжении стержня.

Оборудование, инструмент

1. Образцы
2. Испытательная машина: лабораторная установка для испытаний материалов УИМ – 2 ПС.
3. Измерительный инструмент: штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм.
4. Персональный компьютер (ноутбук)

Краткие теоретические сведения

Между пределом прочности материала на растяжение $\sigma_{\text{пч}}$ и пределом прочности на срез существует зависимость $\tau_{\text{пч}} = (0,6 : 0,8) \sigma_{\text{пч}}$.

Прочность при срезе зависит не только от сопротивления материала сдвигу, но и от тех дополнительных напряжений, которые неизбежно возникают от изгиба и смятия.

Величина предела прочности при срезе имеет практическую ценность только в том случае, если нагружение образца будет близко к условиям работы детали на срез в реальных конструкциях.

На практике часто встречаются детали, работающие на срез одновременно по двум плоскостям – двойной срез (болты, заклепки, штифты)

поэтому испытание на срез чаще всего производят с помощью специального приспособления, осуществляющего двойной срез образца.

В качестве образца используют медный или латунный стержень диаметром 6 мм и длиной 26 мм. Различают два метода испытаний на срез:

- одиночный срез (рисунок 4.1)
- двойной срез (рисунок 4.2)

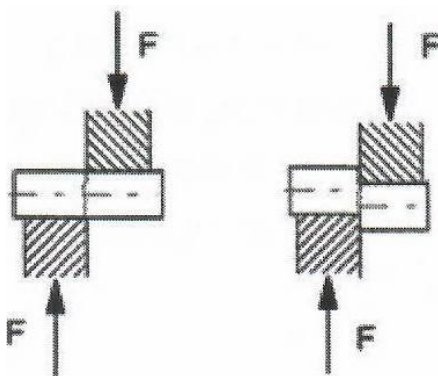


Рисунок 4.1 - Испытание на одиночный срез

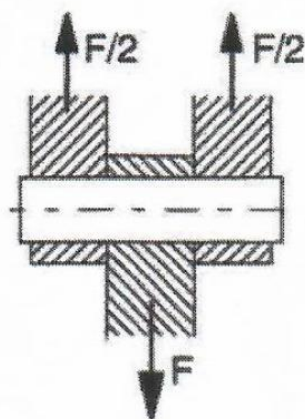


Рисунок 4.2 - Испытание на двойной срез

На практике чаще всего проводят испытания на двойной срез. Для оценки сопротивления штифтов срезу условно считают, что в зоне среза возникают только касательные напряжения, равномерно распределенные по сечению (в действительности же, в зоне разрушения появляются и

нормальные напряжения изгиба и сжатия, что подтверждается формой образца после разрушения):

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

где F — приложенная сила, A — площадь поперечного сечения.

В случае испытания на двойной срез для расчета касательных напряжений используется следующая формула:

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (4.2)$$

Подготовка к испытанию

Устройство испытания на срез устанавливается в секции растяжения, между верхней и средней траверсой. На рисунке 4.3 изображен первый этап сборки. Установите корпус (1) с кронштейном на среднюю траверсу (2) так чтобы язык(3) был вдоль траверсы, и закрутите слегка гайку(4).

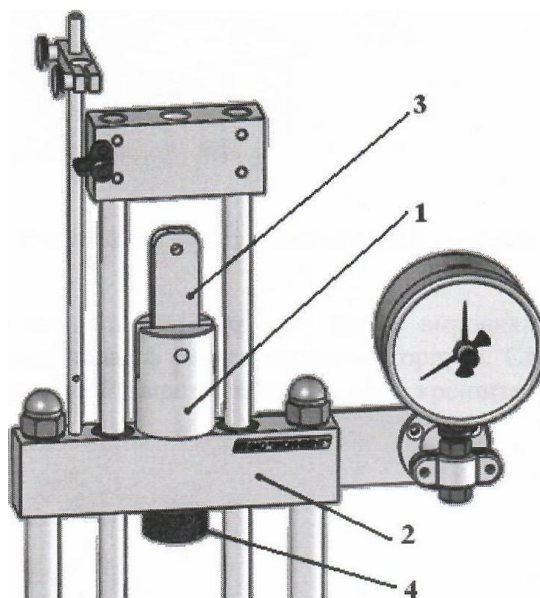


Рисунок 4.3 - Установка нижнего захвата

Далее поместите корпус (1) в нижнюю часть верхней траверсы (2) и слегка закрутите гайку(3). В итоге должна получиться конструкция изображенная на рисунке 4.4.

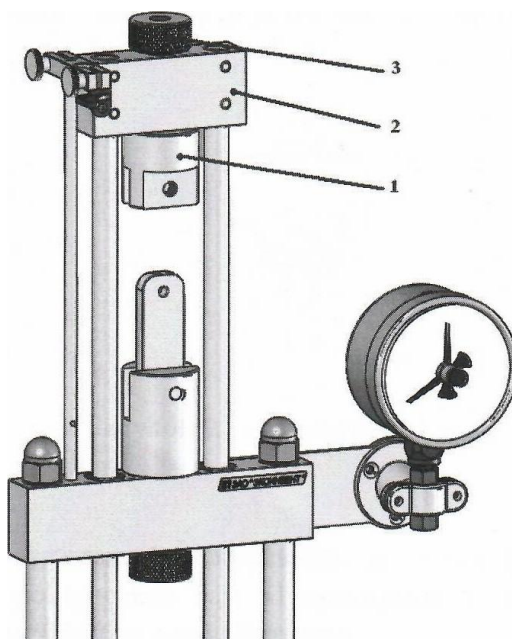


Рисунок 4.4 — Установка верхнего захвата

Прежде, чем окончательно закрутить гайки, выровняйте корпуса таким образом, чтобы язык попал в разрез верхнего корпуса. Слегка смажьте все поверхности скольжения (вырез в корпусе, язык кронштейна, отверстие для образца).

Проведение испытания

Медленно опустите верхнюю траверсу и совместите отверстия в корпусе с закаленными втулками с отверстием в языке. Вставьте образец из меди (Е-Сн, диаметром 6 х 26) таким способом, что бы он был заподлицо с корпусом (рисунок 4.5)

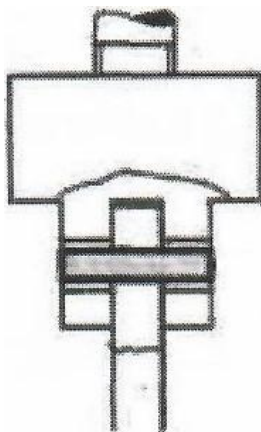


Рисунок 4.5 - Установка образца

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 4.6). И приступите к нагружению образца, плавно вращая штурвал по часовой стрелке.

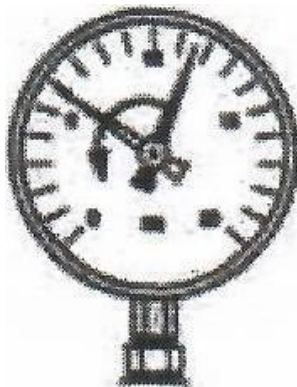


Рисунок 4.6 - Обнуление максимального давления

Как только образец разрушится, давление резко упадет, а красная стрелка укажет максимальное давление в системе. Завершим работу со стендом извлечением разрушенного образца (рисунок 4.7).

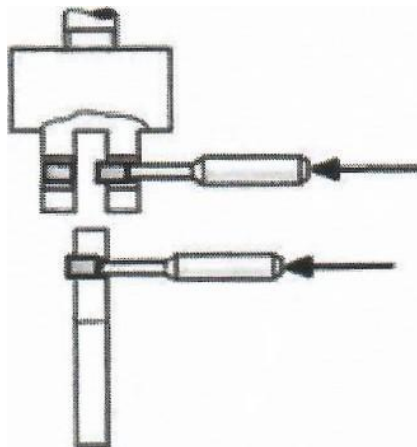


Рисунок 4.7 - Извлечение разрушенного образца.

Для получения приложенной срезающей силы F используем формулу:

$$F = P \cdot A_n \quad (4.1)$$

где P — давление в системе, A_n — площадь поршня толкающего нижнюю траверсу и равна $1.257 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

И далее используем формулу для определения срезающего напряжения для двойного среза:

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (4.2)$$

В случае одиночного среза:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4.3)$$

Полученное значение срезающего напряжения выносливости можно сравнить с полученным напряжением выносливости при растяжении стержня и сделать соответствующие выводы.

Форма отчета

Лабораторная работа № 4

Тема:

Цель работы:

Задачи работы:

Используемое оборудование:

Эскиз и размеры образца до испытания:

Данные испытания (разрушающая нагрузка):

Эскиз и размеры образца после испытания:

Данные после испытания (Предел прочности на срезе):

Выводы по работе (Полученный предел прочности при срезе $\tau_{пч}$ сравнить с пределом прочности при растяжении $\sigma_{пч}$):

Контрольные вопросы

- 1 Какую механическую характеристику определяют при испытании на срез?
- 2 При каких условиях результаты испытания материала на срез могут иметь практическую ценность?
- 3 Какие деформации сопровождают разрушение образца при срезе?
- 4 Какой внутренний силовой фактор возникает в поперечном сечении при деформации среза?
- 5 Чему равна площадь среза образца?
- 6 Какое напряжение возникает при деформации среза; как оно подсчитывается?
- 7 Почему при определении предела прочности при срезе разрушающую нагрузку делят на удвоенную площадь?
- 8 Закон Гука при деформации среза.
- 9 Какие соединения деталей машин работают на срез?

Перечень используемых источников:

- 1 Аркуша А.И. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов. М. «Высшая школа», 2000
2. Рубашкин А.Г., Чернилевский В.Г. Лабораторно-практические работы по технической механике. М. «Высшая школа», 2000

Лабораторная работа 5

Испытание на кручение образцов материалов

Цель работы

Испытание на кручение образцов материалов проводится с целью экспериментального определения механических характеристик при чистом сдвиге: модуля сдвига G , предела текучести τ_T , предела прочности τ_B , а также оценить характер разрушения (сдвиг, отрыв).

Краткие теоретические сведения

При испытании на кручение образец из исследуемого материала прочно закрепляется головками в захватах испытательной машины и подвергается непрерывному плавному деформированию до разрушения.

При проведении испытаний образцов на кручение должны соблюдаться следующие основные условия: качественное центрирование образца в захватах, плавность нагружения и разгружения, отсутствие продольной силы.

Для испытаний на кручение применяют стандартные образцы по ГОСТ 3565. Можно использовать как сплошные, так и трубчатые образцы. Образец сплошного поперечного сечения представлен на рисунке 5.1.

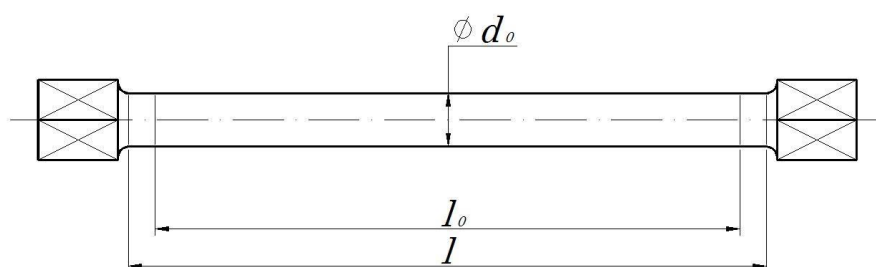


Рисунок 6.1 - Эскиз образца.

Конструкция головок образца должна обеспечивать передачу крутящего момента от активного захвата к рабочей части образца и от рабочей части к

момента измерителю. Размеры образца: диаметр расчетной части d_0 , длина расчетной части l_0 , длина рабочей части l , при этом должно соблюдаться

$$l \geq l_0 + d_0 \quad \text{и} \quad \frac{l_0}{d_0} = 10 \quad \text{или} \quad \frac{l_0}{d_0} = 5.$$

Испытание на кручение проводится как для пластичных, так и для малопластичных и хрупких материалов. При испытании на кручение на образцах не образуется шейка, вследствие чего крутящий момент возрастает до разрушения образца. Пластическая деформация равномерна по длине образца, цилиндрическая форма сплошного образца сохраняется до разрушения.

Для испытаний на кручение может быть использована любая испытательная машина, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 3565.

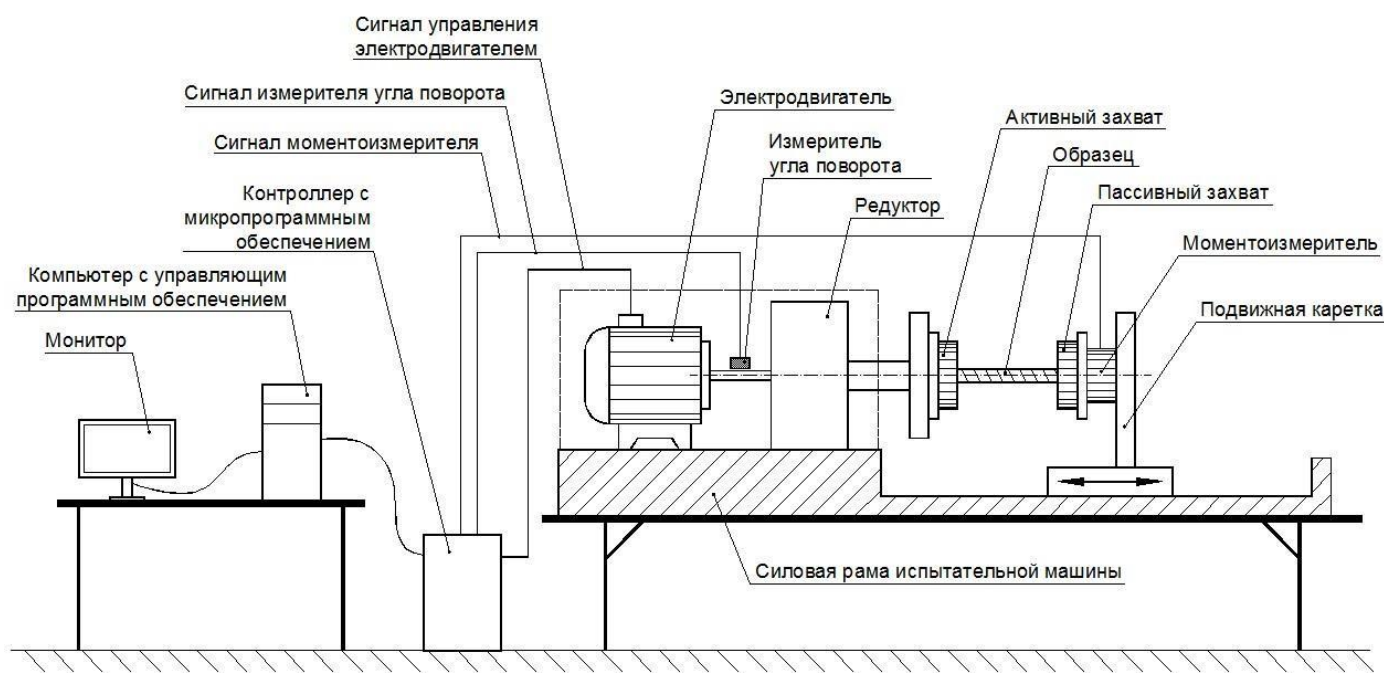


Рисунок 5.2 - Схема испытательной машины.

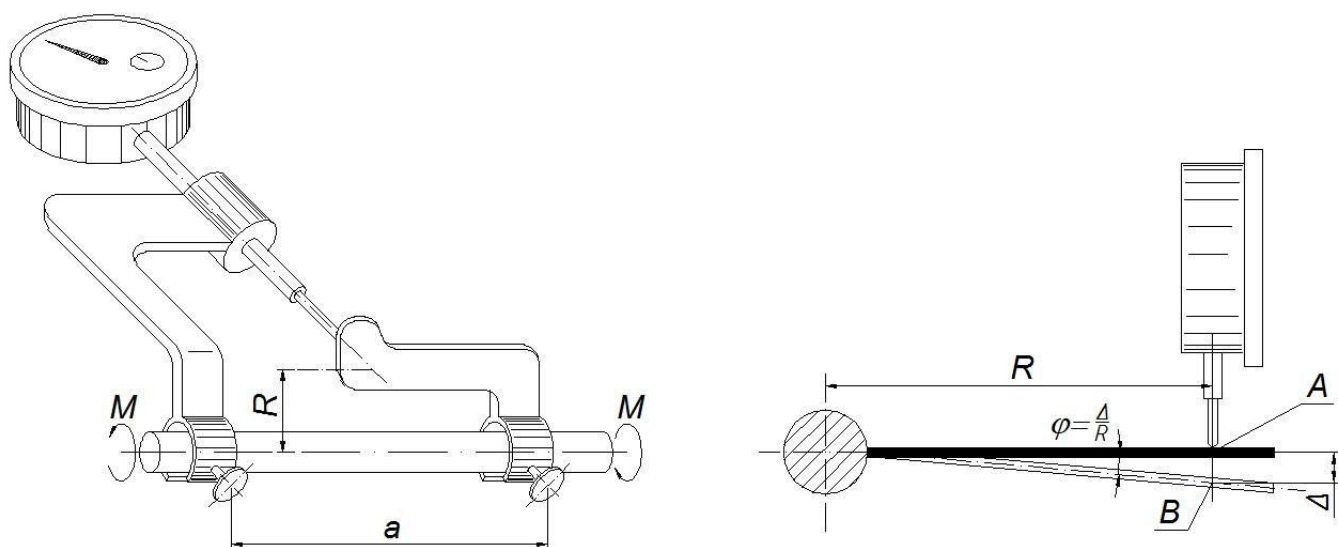


Рисунок 5.3 - Угломер Бояршинова и схема измерения угла закручивания.

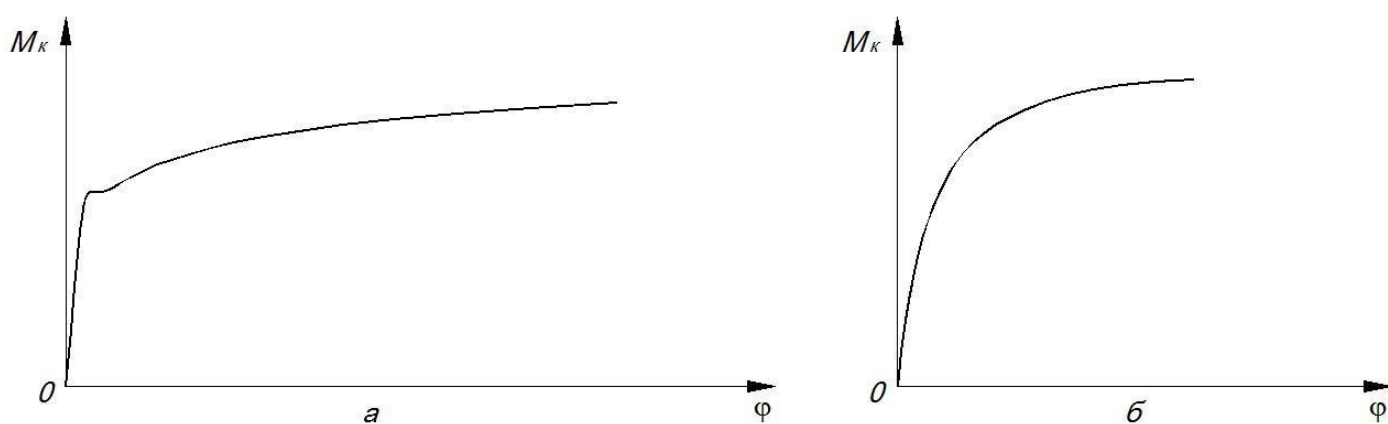


Рисунок 6.4 - Диаграммы кручения образцов:

а – низкоуглеродистая сталь; б – серый чугун

Рассмотрим диаграмму кручения образца пластичного материала (рисунок 5.4 а).

На начальном участке диаграммы между крутящим моментом M_K и углом закручивания φ соблюдается прямая пропорциональная зависимость – образец деформируется линейно-упруго. Затем начинается “участок упрочнения”,

характеризующийся малым темпом увеличения крутящего момента и большим темпом приращения угла закручивания. Конечная точка диаграммы соответствует разрушению образца. Образцы из разных материалов при испытании на кручение разрушаются по-разному: поверхность разрушения, перпендикулярная оси образца, указывает на разрушение от среза, винтовая поверхность – на разрушение от отрыва.

Угол закручивания образца при его деформировании за пределами упругого участка диаграммы складывается из угла φ_y , соответствующего упругой деформации сдвига, подчиняющегося закону Гука, и угла закручивания φ_p , соответствующего пластической деформации сдвига, т.е. $\varphi = \varphi_y + \varphi_p$.

Диаграмма кручения образца позволяет оценить поведение материала образца в упругой и упругопластической стадиях деформирования, определить механические характеристики материала при сдвиге. Для получения численно сопоставимых между собой механических характеристик материалов диаграммы кручения образцов перестраивают в диаграммы сдвига материалов. Диаграммой сдвига материала называется зависимость между касательными напряжениями τ , возникающими в материале при чистом сдвиге, и соответствующими углами сдвига γ .

Касательные напряжения в образце круглого поперечного сечения в пределах упругости пропорциональны расстоянию точки от оси образца:

$$\tau = \frac{M_K}{I_P} \cdot r,$$

где M_K - крутящий момент,

I_P – полярный момент инерции круглого сечения,

r – расстояние точки от оси образца.

Наибольшие касательные напряжения при кручении образца круглого поперечного сечения возникают в точках поперечного сечения у внешней

цилиндрической поверхности и в пределах применимости закона Гука вычисляются по формуле:

$$\tau_{max} = \frac{M_K}{W_P},$$

где W_P - момент сопротивления кручению круглого сечения.

Диаграмма сдвига материала строится по диаграмме кручения образца.

В начальной части диаграмма сдвига линейная, т.е. касательное напряжение τ пропорционально углу сдвига γ . Закон пропорциональности, называемый законом Гука при сдвиге, может быть записан в виде:

$$\tau = G \cdot \gamma,$$

где коэффициент пропорциональности G называется модулем сдвига или модулем упругости 2-го рода. Он характеризует сопротивление материала упругим деформациям и является упругой постоянной. Отметим, что три постоянные упругости (модуль Юнга E , модуль сдвига G и коэффициент Пуассона ν) не являются независимыми, а связаны между собой соотношением:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}.$$

Закон Гука при сдвиге выполняется до напряжения, именуемого пределом пропорциональности $\tau_{пц}$.

Для определения модуля сдвига G воспользуемся зависимостью угла закручивания φ от крутящего момента M_K :

$$\varphi = \frac{M_K \cdot a}{G \cdot I_P},$$

где a – расстояние между сечениями образца, взаимный угол поворота которых измеряется. Отсюда:

$$G = \frac{M_K \cdot a}{\varphi \cdot I_P}.$$

Измеряя углы закручивания φ , соответствующие значениям крутящего момента M_K , можно вычислить модуль сдвига G .

Для измерения малых углов закручивания используется угломер Бояршинова (рис. 3.3), устанавливаемый на рабочей части образца.

Угломер состоит из двух рычагов, закрепляемых на сечениях образца, отстоящих друг от друга на расстояние a (база угломера). На одном из рычагов установлен индикатор часового типа, а второй рычаг упирается в измерительный стержень индикатора. При взаимном повороте сечений индикатор измеряет линейное перемещение Δ точки рычага, отстоящей на расстоянии R от оси образца. Таким

образом, $tg \varphi = \frac{\Delta}{R}$, или, ввиду малости угла φ , $\varphi = \frac{\Delta}{R}$ (рад.).

Следует обратить внимание на различный характер разрушения при нагружении крутящим моментом образцов, изготовленных из пластичного (низкоуглеродистая сталь) и хрупкого (чугун) материала. Пластичный образец разрушается по поперечному сечению за счет сдвиговых напряжений («срез»), а хрупкий – по винтовой поверхности, наклоненной к оси образца под углом 45° , где действуют наибольшие растягивающие напряжения («отрыв»).

Порядок выполнения работы:

1. Подготовка испытательной машины к работе:
 - 1.1. Включить электропитание испытательной машины.
 - 1.2. Включить компьютер с управляющим программным обеспечением и аудиокolonки.
 - 1.3. Загрузить программное обеспечение «Partner».
 - 1.4. Загрузить процедуру испытания «Сталь».
2. Определение геометрические характеристики образцов:
 - 2.1. Измерить и записать диаметр рабочей части и рабочую длину стального и чугунного образцов.
3. Установка стального образца
 - 3.1. Установить стальной образец в захваты машины. При необходимости, установить нужный угол поворота активного захвата, используя кнопки

поворота CW (по часовой стрелке) и CCW (против часовой стрелки) на пульте управления машиной. Установленный образец должен иметь свободный люфт в продольном направлении в пределах нескольких миллиметров.

3.2. Установить программный нуль датчика момента в управляющей программе с помощью кнопки «Обнулить всё».

3.3. Выбрать зазор с помощью кнопки CCW на пульте управления машиной. Допустимый момент, наблюдаемый в управляющей программе, не должен превышать 5 Нм.

4. Установка угломера:

4.1. Установить на образец угломер Бояршинова. Левый и правый его рычаги в этот момент должны быть скреплены винтом.

4.2. Освободить винт, скрепляющий рычаги угломера.

5. Испытание стального образца:

5.1. Запустить выполнение процедуры испытания «Сталь».

5.2. Регистрировать показания индикатора угломера Бояршинова при значениях крутящего момента 10, 20, 30, 40 и 50 Нм. При достижении соответствующих значений крутящего момента раздаётся звуковой сигнал.

5.3. Не открывая предохранительный экран, аккуратно снять угломер Бояршинова с образца (испытательную машину не останавливать).

5.4. Продолжить испытание. При разрушении образца испытательная машина остановится автоматически.

5.5. Удалить разрушенный образец. **Внимание! Образец может быть достаточно горячим!**

5.6. Зафиксировать значение разрушающего момента.

5.7. При необходимости, распечатать полученный график.

6. Испытания чугунного образца:

6.1. Загрузить процедуру испытания «Чугун».

- 6.2. Установить чугунный образец в захваты машины. При необходимости, установить нужный угол поворота активного захвата, используя кнопки поворота CW (по часовой стрелке) и CCW (против часовой стрелки) на пульте управления машиной. Установленный образец должен иметь свободный люфт в продольном направлении в пределах нескольких миллиметров.
- 6.3. Установить программный нуль датчика момента в управляющей программе с помощью кнопки «Обнулить всё».
- 6.4. Выбрать зазор с помощью кнопки CCW на пульте управления машиной. Допустимый момент, наблюдаемый в управляющей программе, не должен превышать 5 Нм.
- 6.5. Запустить выполнение процедуры испытания «Чугун».
- 6.6. Нагружать образец до его разрушения. При разрушении образца испытательная машина остановится автоматически.
- 6.7. Удалить разрушенный образец.
- 6.8. Зафиксировать значение разрушающего момента.
- 6.9. При необходимости, распечатать полученный график.
7. Произвести обработку результатов эксперимента в последовательности, указанной в журнале (включая построение диаграммы и эскизы разрушенных образцов).

Контрольные вопросы:

1. При каком внутреннем силовом факторе возникает кручение?
2. Какие напряжения возникают в поперечных сечениях при кручении?
3. Как рассчитать максимальные напряжения при кручении?
4. Что такое полярный момент сопротивления и полярный момент инерции?
5. Напишите условие прочности при кручении.
6. Какая деформация возникает при кручении?

7. Как рассчитать угол закручивания круглого вала?
8. Как определяется допускаемое касательное напряжение $[\tau]$?
9. Как рассчитать необходимый диаметр вала при кручении, если $[\tau]$ и характер нагружения вала известны?

Лабораторная работа 6

Цель работы

Определить твердость материала методом Бринелля.

Инструменты и оборудование

- Испытательная машина (рисунок 6.1)
- Испытуемый образец
- Персональный компьютер (ноутбук)
- Электронный блок

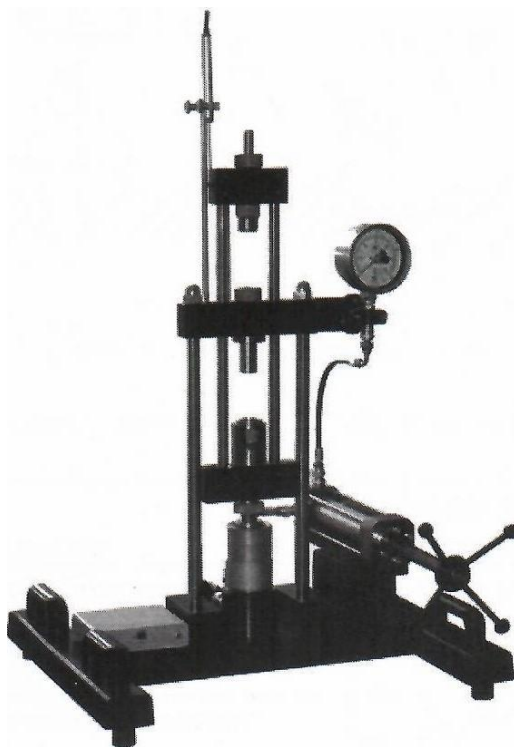


Рисунок 6.1 — Универсальная машина для исследования свойств материала.

Краткие теоретические сведения

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы, является твердость. Испытания на твердость производятся чаще, чем определение других механических характеристик металлов: прочности, относительного удлинения и др.

Твёрдостью материала- называют способность оказывать сопротивление механическому проникновению в его поверхностный слой другого твёрдого тела. Данная характеристика очень важна при обработке материала, для выбора инструмента и режима работы станка.

Метод Бринелли один из самых старых методов определения твердости. Данный метод основан на вдавливании в образец металлического шарика, после чего проводят замер отпечатка (рисунок 6.2). По размерам данного следа вычисляют твердость материала. Зная твёрдость по Бринеллю, можно быстро найти предел прочности и текучести материала, что важно для прикладных инженерных задач.

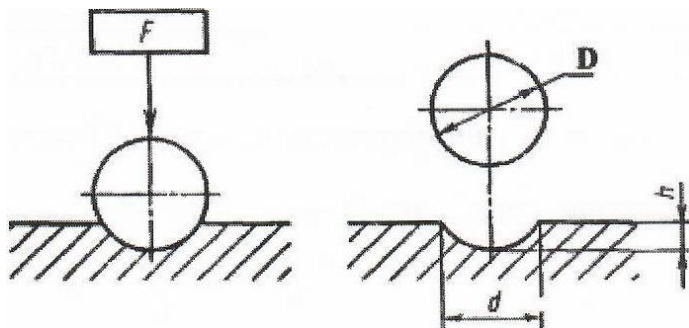


Рисунок 6.2 — Метод Бринелля

Перед началом работы, зная материал образца определяют используя таблицу 6.1 параметр К.

Таблица 6.1 — Определение параметра К

Материал	Твердость по Бринеллю	К
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы (на основе никеля, кобальта и др.)	о 140	10
	140 и более	30
Титан и сплавы на его основе	От 50	15
Медь и сплавы на ее основе, легкие металлы и их сплавы	Менее 35	5
	от 35	10
Подшипниковые сплавы	От 8 до 50	2,5
Свинец, олово и другие мягкие металлы	0 20	1

Далее зная K , используют таблицу 6.2, по которой определяют прикладываемую силу.

Таблица 6.2 — Определение силы вдавливания

Диаметр шарика, мм	Нагрузка F , Н (кгс). для K					
	30	15	10			1
10	29420	14710	9807	4903	2452	980,7
	-3000	-1500	-1000	-500	-250	-100

При измерении твердости, наконечник плавно приводят в соприкосновение с поверхностью образца и плавно прикладывают заданное усилие F , до тех пор, пока оно не достигнет необходимой величины.

Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия должна соответствовать таблице 6.3.

Таблица 6.3 — Определение времени выдержки

Твердость по Бринеллю	Продолжительность, с.
До 10	180
Св. 10 до 35	120
>>35>>100	30
>>100	окт. 15

Приблизительные значения твердости, для некоторых материалов указаны в таблице 6.4.

Таблицам 6.4 — Твердость некоторых материалов

Материал	Твёрдость
Мягкое дерево (сосна)	1,6 HBS 10/100
Тве дерево	от 2,6 до 7,0 HBS 10/100
Алюминий	15 HB
Мель	35 HB
Дюраль	70 HB
Мягкая сталь	120 HB
Нержавеющая сталь	250 HB
Стекло	500 HB
Инструментальная сталь	650—700 HB

Время от начала приложения усилия до достижения заданной величины должно составлять 2-8 секунд. Диаметр отпечатка измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднеарифметическое значение результатов измерения.

Введем следующие обозначения:

Таблица 6.5 — Вводимые обозначения

Обозначение	Наименование
D	Диаметр шарика, мм
F	Усилие, Н (кгс)
d	Диаметр отпечатка, мм
h	Глубина отпечатка, вычисляемая по формуле $h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$, мм.

<i>s</i>	Толщина образца, мм
<i>A</i>	Площадь поверхности сферического отпечатка, мм ²
<i>K</i>	Соотношение между нагрузкой и квадратом диаметра шарика $\frac{0.102F}{D^2} \left(\frac{F}{D^2} \right) \text{ Н/мм}^2 \text{ (кгс/мм}^2\text{)}$
<i>HB</i>	Твердость по Бринеллю при применении стального шарика
<i>HBW</i>	Твердость по Бринеллю при применении шарика из твердого сплава

Твердость по Бринеллю *HB* численно равна отношению приложенного усилия *F* к площади сферического отпечатка *A* и рассчитывается по формулам:

$$HB(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{0.102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (6.1)$$

В случае, когда усилие *F* выражено в Н;

$$HB(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (6.2)$$

В случае, когда усилие *F* выражено в кгс;

Твердость по Бринеллю обозначают символом *HB* (*HBW*), которому предшествует числовое значение твердости из трех значений цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15 с.

Примеры обозначения:

250 HB 5/750 - твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усиллии 750 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

575 HBW 2,5/187,5/30 - твердость по Бринеллю 575, определенная при применении шарика из твердого сплава диаметром 2,5 мм, при усилии 187,5 кгс (1839 Н) и продолжительности выдержки 30 с;

При определении твердости стальным шариком или шариком из твердого сплава диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с твердостью по Бринеллю обозначают только числовым значением твердости и символом HB или HBW : например, 185 HB , 600 HBW .

Как было сказано выше, зная твердость по Бринеллю, можно определить предел прочности и текучести некоторых материалов. Например, для стали предел прочности будет:

$$\sigma_B = \frac{10HB}{3} \text{ МПа} \quad (6.3)$$

А предел текучести:

$$\sigma_T = \frac{10HB}{6} \text{ МПа} \quad (6.4)$$

Для алюминиевых сплавов, предел прочности:

$$\sigma_B = 3.62HB \text{ МПа} \quad (6.5)$$

Предел текучести:

$$\sigma_T = 2.6HB \text{ МПа} \quad (6.6)$$

Подготовка к испытанию

Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой. Собранный стенд изображен на рисунке 6.3. Сборка осуществляется следующим образом:

1. Закрепите пуансон 3 на средней траверсе, используя шпильку 2 и гайку 1;
2. Установите столик 4 на нижнюю траверсу

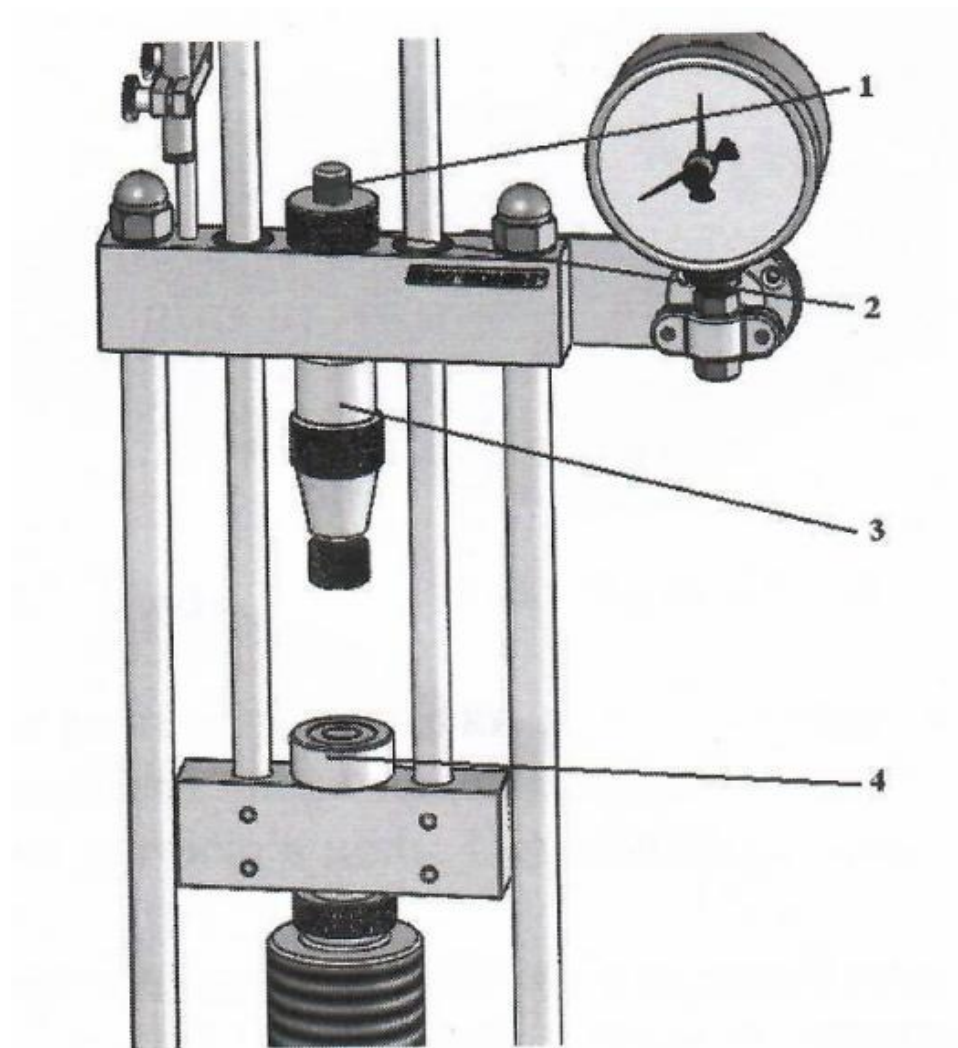


Рисунок 6.3 — Собранный стенд

Образец должен быть установлен на столике 4 устойчиво, во избежание его смещения и прогиба во время измерения прогиба.

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4— Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 6.5. Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления
- Датчик перемещения
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V
- Компьютер USB-проводом в разъем PC



Рисунок 6.5 — Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При проведении испытания нижняя и верхняя траверсы, перемещается вверх, вдавливая шарик в образец. Датчик перемещения закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 6.6). А стержень датчика в свою очередь закреплен за верхнюю траверсу, и движется вместе с ней.

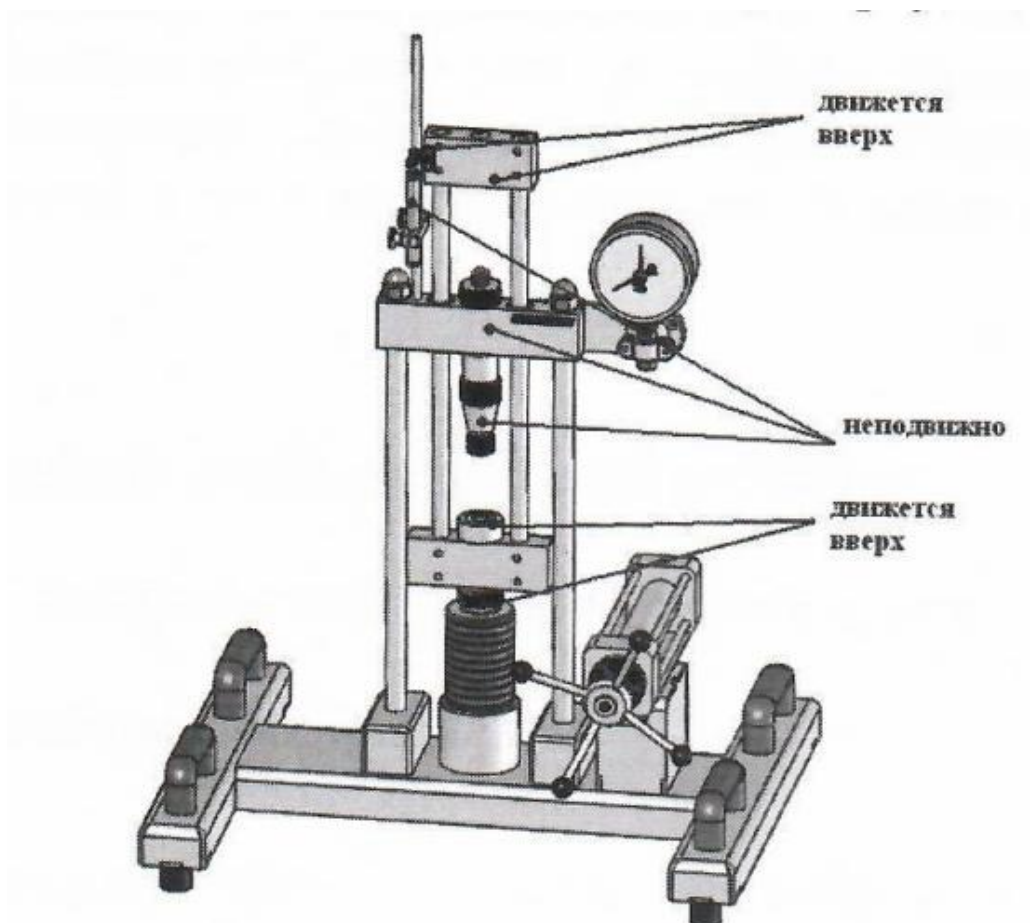


Рисунок 6.5 - Направления перемещения частей стенда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стендом (рисунок 6.7). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в результате чего программа переходит в режим ожидания, и каких-либо изменений на графиках происходить не будет.

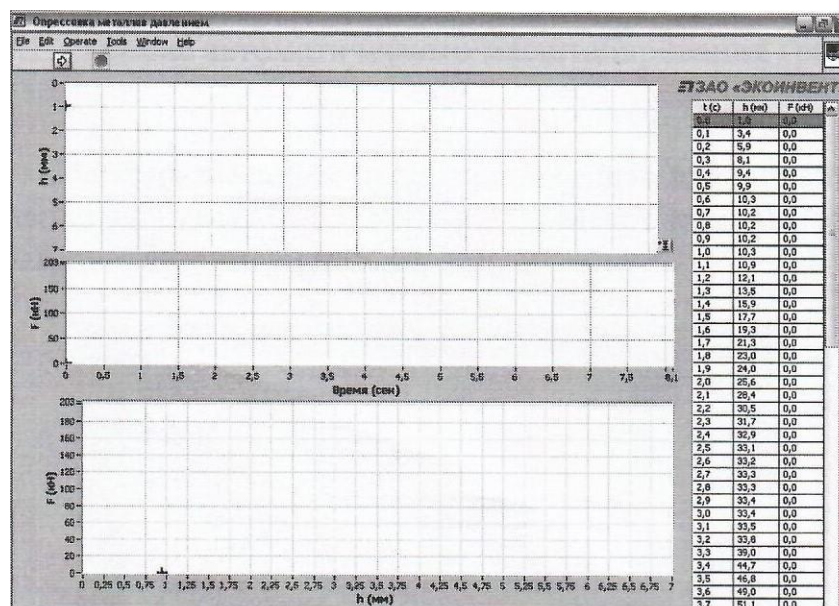


Рисунок 6.7 — Вид программы для работы со стендом

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

Проведение лабораторной работы

В данной лабораторной работе используется стальной шарик диаметром 10 мм .

Порядок работы следующий:

1. Используя таблицу 3.1. определите параметр К;
2. Используя таблицу 3.2. определите силу вдавливания;
3. Используя таблицу 3.3. определите время выдержки
4. Засеките время и приступите к вдавливанию шарика в образец, для этого необходимо вращать штурвал по часовой стрелке

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать

кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков и изображена на рисунке 6.8.



Рисунок 6.8 — Кнопка автоматического масштабирования графиков.

По мере увеличения давления будет происходить вдавливание шарика. Величина перемещения будет отображена на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 6.9).

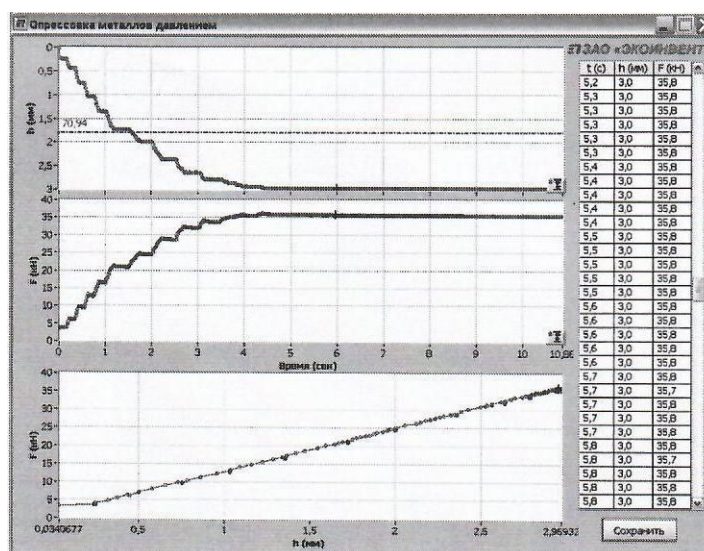


Рисунок 6.9 — Внешний вид программного обеспечения

Нагрузив до заданной силы, выдержите необходимое время, после чего необходимо снять нагрузку, вращая штурвал против часовой стрелки.

Используя штангенциркуль, либо линейку замерьте в двух взаимно перпендикулярных направлениях размеры отпечатка и вычислите среднее.

Завершите работу вычислением твердости материала по формулам теоретической части.

По датчику давления, можно подсчитать приложенную силу воспользовавшись формулой:

$$F = P \cdot A \quad (6.1)$$

Здесь P — давление в системе,

A - площадь поршня толкающего нижнюю траверсу и равна $1.257 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость?
2. В чем заключается суть метода Бринелли?
3. Каково практическое применение твердости?
4. Как обозначается твердость материала?

Лабораторная работа 7

Испытание балки на изгиб

Цель работы

Целью данной лабораторной работы является проверка формул определяющих прогиб балки установленной на двух шарнирных опорах. А так же определение максимальных моментов и напряжений, возникающих в балке.

Инструменты и оборудование

- Испытательная машина для исследования свойств материала УИМ-2;
- Балка;
- Двухтавовая опора;
- Две опоры;
- Нагружающий элемент;
- Персональный компьютер (ноутбук);
- Электронный блок;
- Штангенциркуль;
- Линейка.

Краткие теоретические сведения

Изгиб - такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают изгибающие моменты.

Для правильного расчета балок на изгиб, прежде всего, необходимо правильно определять возникающие внутренние силы, т.е. строить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

В данной лабораторной работе будет рассмотрен простейший двух опорный стержень, нагруженный поперечной силой F (рисунок 7. 1).

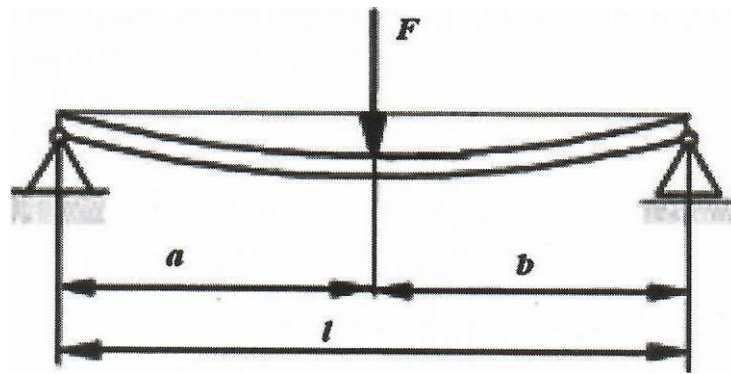


Рисунок 7.1 — Расчетная схема

Анализ внутренних сил обычно начинают с определения действующих внешних сил. В данном случае определяют реакции опор R_1 и R_2 (рисунок 7.2).

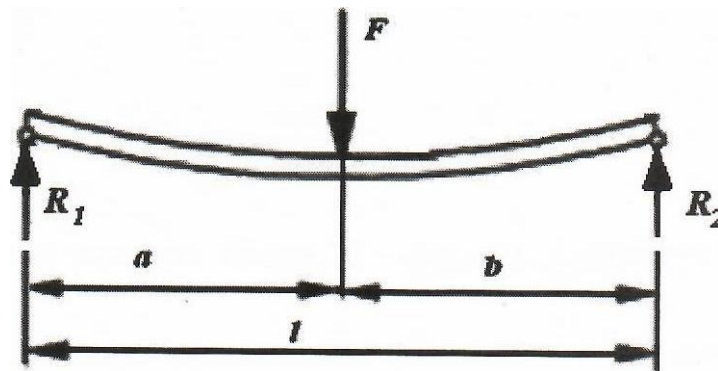


Рисунок 7.2 — Расчетная схема с отброшенными опорами

Для их определения используют условия равновесия, а именно равенство нулю моментов по краям балки. Это обусловлено шарнирными опорами в которых изгибающий момент всегда равен нулю. Составим два уравнения равновесия моментов относительно левой и правой опоры:

$$\begin{cases} F \cdot a - R_2 \cdot l = 0 \\ F \cdot b - R_1 \cdot l = 0 \end{cases} \quad (7.1)$$

Из данной системы получаем значения R_1 и R_2 :

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{F \cdot a}{l} \\ R_1 &= \frac{F \cdot b}{l} \end{aligned} \quad (7.2)$$

Определив реакции опор перейдем к построению эпюры изгибающих моментов (рисунок 7.3).

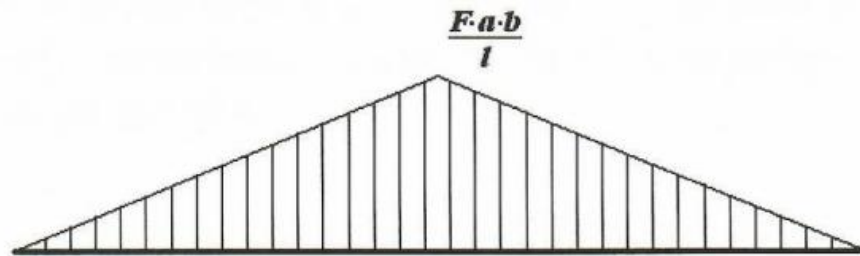


Рисунок 7.3 — Эпюра изгибающих моментов

Используя графоаналитический метод Верещагина можно получить значение прогиба в месте приложения силы. Он будет вычисляться по следующей формуле:

$$v = \frac{F a^2 b^2}{3lEI_x} \quad (7.3)$$

Где I_x — момент инерции балки,

E — модуль упругости первого рода равный $2.1 \cdot 10^{11}$ Па.

Так как балка имеет прямоугольное сечение с размерами B и H (рисунок 7.4) то момент инерции будет вычисляться по формуле 7.4.

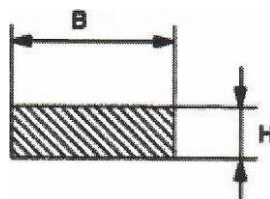


Рисунок 7.4 - Сечение балки

$$I_x = \frac{BH^3}{12} \quad (7.4)$$

Для частного случая, когда сила приложена посередине балки, т.е. $a = b = l/2$ - формула 3.3 примет следующий вид:

$$v = \frac{Fl^3}{48EI_x} \quad (7.5)$$

При изгибе верхние слои будут сжиматься, а нижние растягиваться. При упругом изгибе распределение напряжений по сечению будет линейным, и выглядеть как на рисунке 7.5.

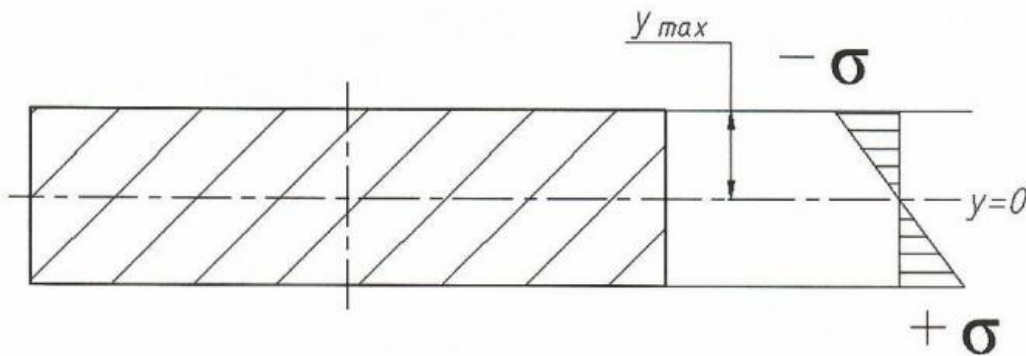


Рисунок 7.5 — Распределение напряжений по сечению балки

Как видим из рисунка 7.5 максимальные напряжения находятся слоях самых удаленных от срединного слоя. Для вычисления напряжений используют следующую формулу:

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y$$

где y - расстояние от срединного слоя, до слоя в вычисляются напряжения. В литературе при $y = y_{max} = H/2$, $\frac{I_x}{y}$ заменяют на W_x и называют моментом сопротивления. На поверхностных слоях для балки прямоугольного сечения $W_x = \frac{BH^2}{6}$. Предыдущая формула будет выглядеть так:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \quad (7.6)$$

Из формулы 7.6 очевидно что максимальные напряжения будут при максимальном изгибающем моменте, который, как видно из рисунка 3.3, равен:

$$M_{max} = \frac{F \cdot a \cdot b}{l} \quad (7.7)$$

Тогда:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} \quad (7.8)$$

Важно! Для избегания пластической деформации балки был построен график допустимых нагружающих сил в зависимости от расстояния между опорами (рисунок 7.6). При условии, что $a = b = l/2$ (сила прикладывается по середине) и $\sigma_T = 400$ МПа:

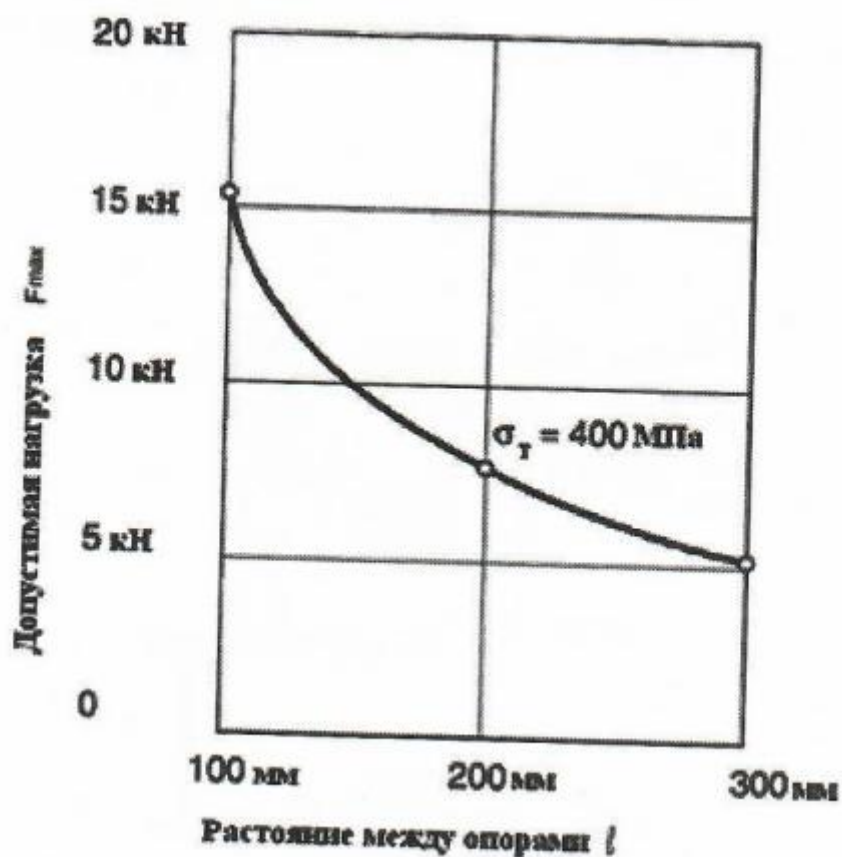


Рисунок 7.6 — Зависимость максимально допустимой силы приложенной посередине балки от расстояния между опорами

Подготовка к испытанию

Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой. Прикрутим двутавровую опору к нижней траверсе, как изображено на рисунке 7.7.

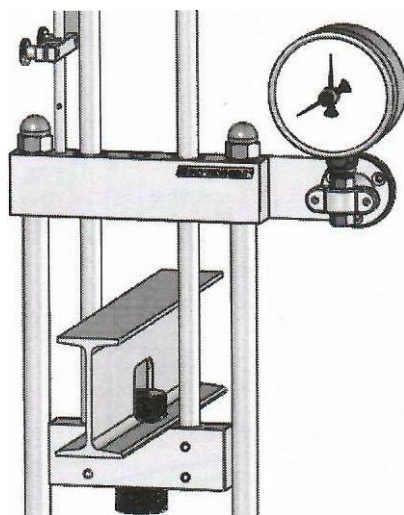


Рисунок 7.7 — Установка двутавровой опоры к нижней траверсе стенда

Далее к средней траверсе необходимо прикрутить нагружающее приспособление. Важно чтобы острая кромка была расположена перпендикулярно двутавровому основанию. Если приспособление не влезает, то выкрутите штурвал давления, чтобы опустить нижнюю траверсу.

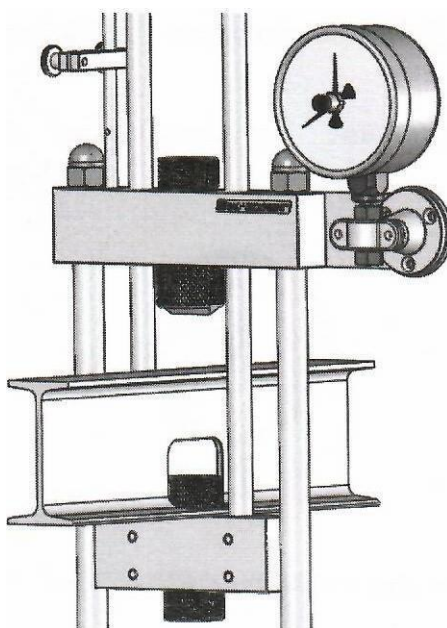


Рисунок 7.8 — Установленное нагружающее приспособление

Следующими этапом сборки стенда будет установка двух опор и на них нагружаемой балки (рисунок 7.9). Расстояние между опорами следует проверить

линейкой. После установки опор и балки, подкрутите штурвал до касания балки с приспособлением средней траверсы по всей ширине.

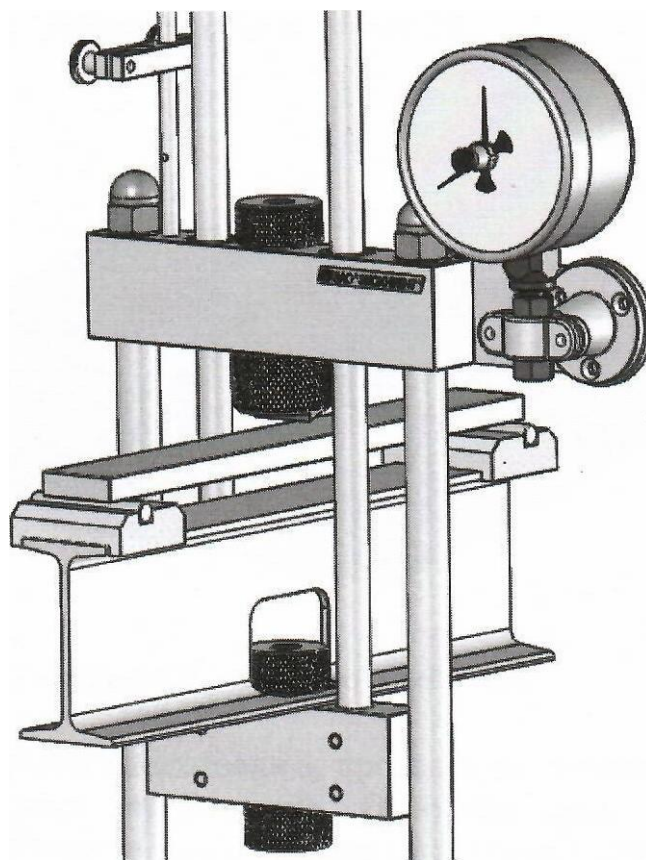


Рисунок 7.9 — Вид собранной установки

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 7.10).

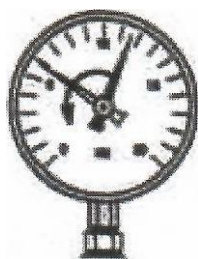


Рисунок 7.10— Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 7.11. Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления,
- Датчик перемещения,
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V,
- Компьютер USB-проводом в разъем PC



Рисунок 7.11 — Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При испытании на изгиб балки нижняя и верхняя траверсы, вместе с балкой и опорами перемещаются вверх, упирая балку в приспособление средней траверсы. Датчик перемещения закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 7.12). А стержень датчика в свою очередь закреплен за верхнюю траверсу, и движется совместно с ней.

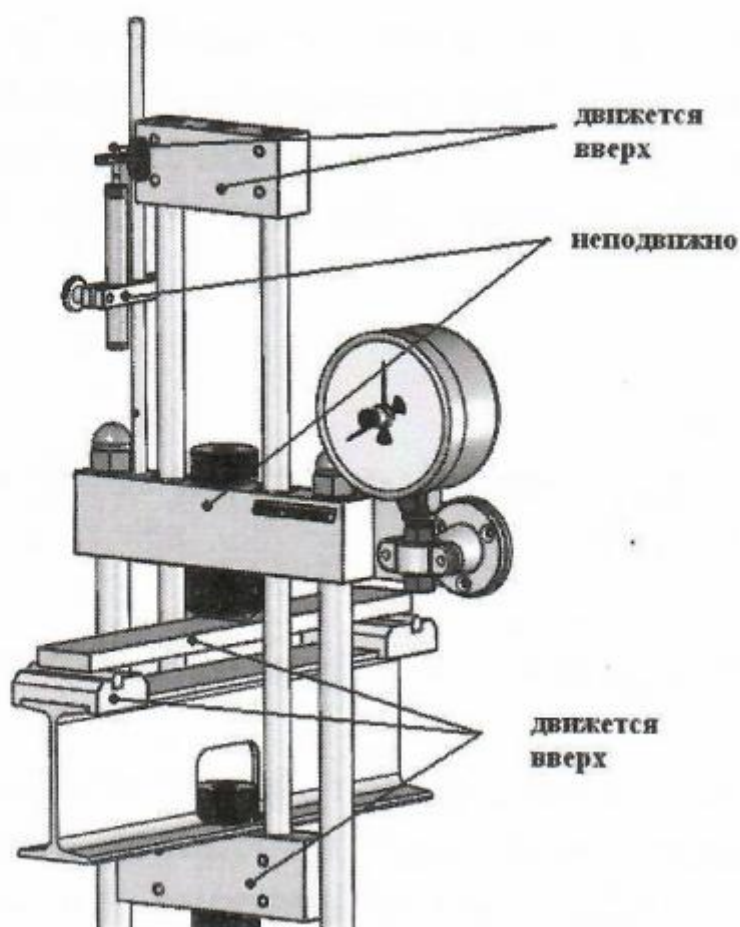


Рисунок 7.12— направления перемещения частей стенда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стендом (рисунок 7.13). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствии чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

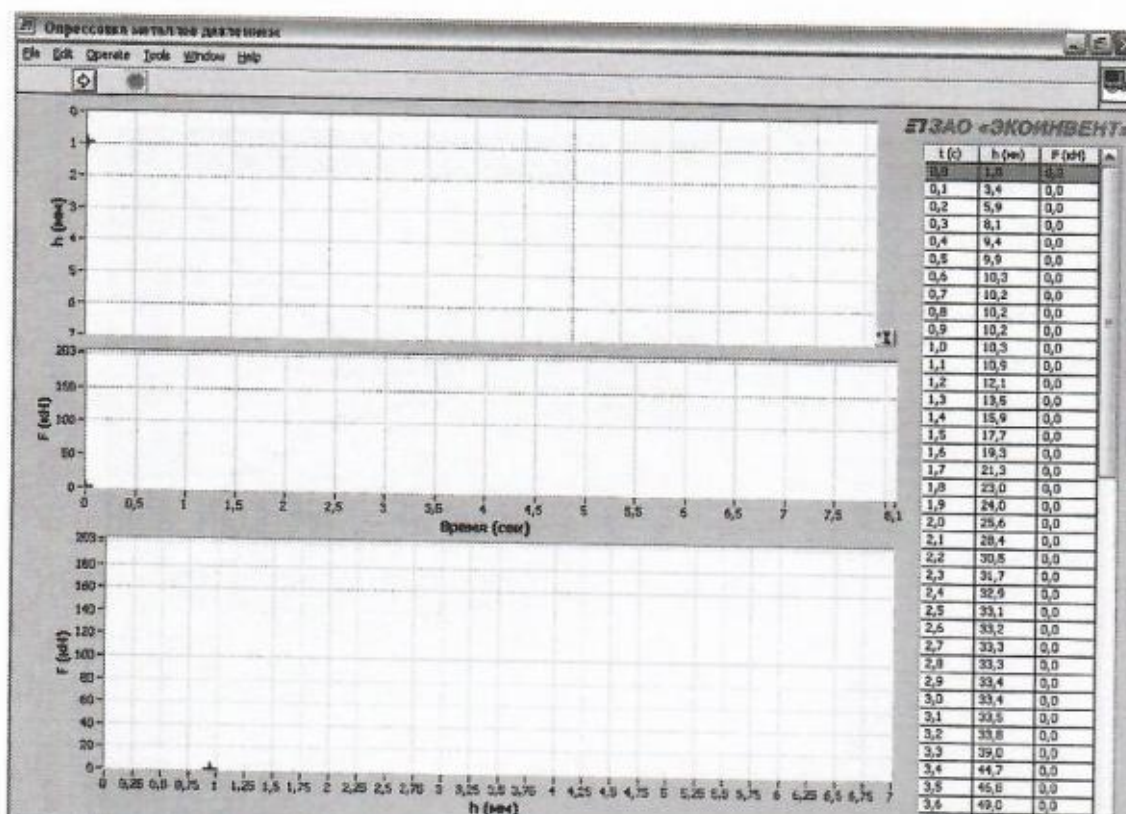


Рисунок 7.13 — Вид программы для работы со стендом

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

Проведение лабораторной работы

Используя штангенциркуль, измерьте размеры сечения балки. Т.е. определите В и Н.

Линейкой проверьте расстояние между опорами и при необходимости выставите нужное значение, переместив опору вдоль основания.

Используя рисунок 4.6, определите максимальную допустимую силу нагружения.

Приступите к нагружению балки, вращая штурвал по часовой стрелке.

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать кнопку для автоматического масштабирования.

По мере увеличения давления будет происходить изгиб балки. Ее прогиб будет отображен на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 7.14).

t (s)	h (mm)	F (H)
5,2	3,0	35,8
5,3	3,0	35,8
5,3	3,0	35,8
5,3	3,0	35,8
5,3	3,0	35,8
5,3	3,0	35,8
5,4	3,0	35,8
5,4	3,0	35,8
5,4	3,0	35,8
5,4	3,0	35,8
5,4	3,0	35,8
5,5	3,0	35,8
5,5	3,0	35,8
5,5	3,0	35,8
5,5	3,0	35,8
5,5	3,0	35,8
5,6	3,0	35,8
5,6	3,0	35,8
5,6	3,0	35,8
5,6	3,0	35,8
5,6	3,0	35,8
5,7	3,0	35,8
5,7	3,0	35,7
5,7	3,0	35,8
5,7	3,0	35,8
5,7	3,0	35,8
5,8	3,0	35,8
5,8	3,0	35,7
5,8	3,0	35,8
5,8	3,0	35,8
5,8	3,0	35,8

Рисунок 7.14 — Внешний вид программного обеспечения

Нагрузив до заданной силы, и сняв показания с датчика перемещения, балку необходимо разгрузить.

Посчитайте:

- Момент инерции стержня
- Прогиб (и сравните его с прогибом, полученным из опыта)
- Максимальный момент
- Максимальное напряжение

Контрольные вопросы

1. Что такое изгиб?
2. Где находятся максимальные напряжения при изгибе балки опертой на две шарнирные опоры?
3. Как определяется момент сопротивления изгибу?
4. Как выглядит формула момента инерции балки прямоугольного сечения?
5. Как распределены напряжения по сечению балки при изгибе?
6. Изобразите эпюру изгибающих моментов при изгибе балки опертой на две шарнирные опоры?
7. Выведите формулу для теоретического расчета прогиба?
8. Как будет выглядеть распределение напряжений в сечении при присутствии пластических деформаций?

Лабораторная работа 8

Исследование деформации образца при сложном нагружении

Цель работы

Получение диаграммы смещения образца при одновременном действии нагрузок, приложенных в различных точках.

Инструменты и оборудование

1. Испытательная машина (рисунок 8.1);
2. Образец — стержень квадратного сечения (2 шт);
3. П — образная опора задняя;
4. П — образная опора передняя;
5. Нагружающий элемент с динамометрическим электронным адаптером;
6. Электронный датчик перемещения;
7. Персональный компьютер (ноутбук);
8. Электронный блок;
9. Штангенциркуль;
10. Линейка

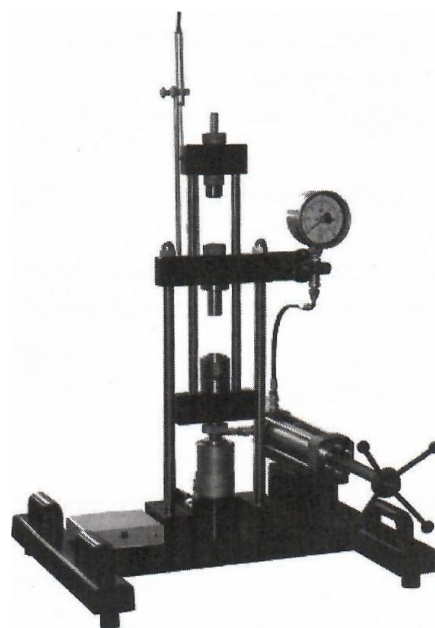


Рисунок 8.1 — Универсальная машина для исследования свойств материала.

Краткие теоретические сведения

При простых видах деформации (осевое растяжение или сжатие, сдвиг, кручение, плоский изгиб) в поперечных сечениях возникает только одно внутреннее усилие (продольная или поперечная сила, крутящий или изгибающий момент). На практике же большинство элементов конструкций и машин подвергается действиям сил, вызывающих одновременно не одну из указанных деформаций, а две и более. Различные комбинации простых деформаций называются сложным сопротивлением.

В данной лабораторной работе будет рассмотрена «консольная балка» – стержень, жестко закрепленный одним концом на задней П — образной опоре, нагружаемый в среднем сечении вертикальной силой P_1 и нагружаемый на свободном конце горизонтальной силой P (рисунок 8.2).

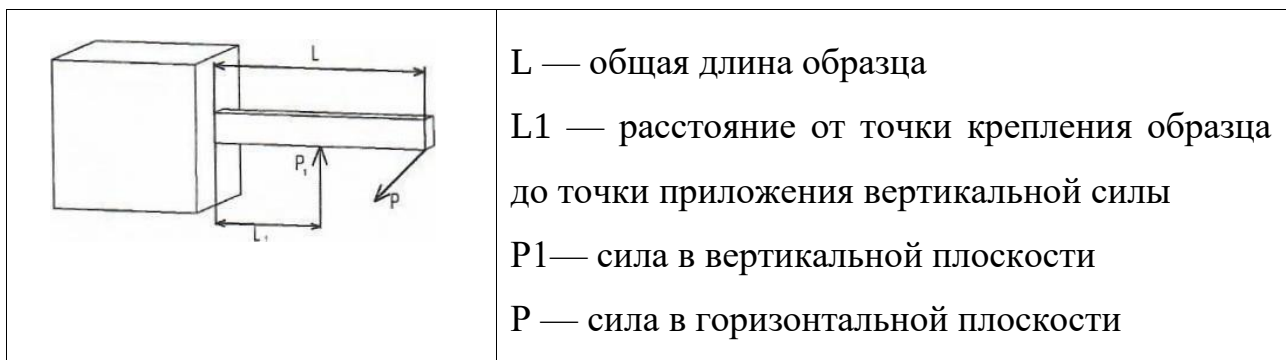
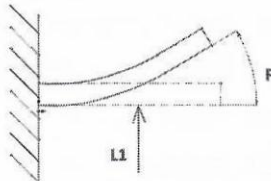


Рисунок 8.2 — Схема нагружения

При нагружении стержня вертикально вверх верхние слои будут сжиматься, а нижние растягиваться. Поскольку вертикальная сила прикладывается посередине образца данная деформация будет проявляться по длине стержня от закрепленного конца до точки приложения силы.

Аналогично под действием силы в горизонтальной плоскости внутренние слои сжимаются, а наружные растягиваются. При этом деформация проявляется по всей длине образца.

При аналитическом решении максимальные значения: поперечного перемещения W , угла поворота F , изгибающего момента M определяются по следующим формулам:

В вертикальной плоскости	В горизонтальной плоскости
$W1 = - \frac{P1 \cdot L1^3}{3 \cdot E \cdot I}$	$W = - \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$
$F1 = \frac{P1 \cdot L1^2}{2 \cdot E \cdot I}$	$F = \frac{P \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I}$
$M1 = - P1 \cdot L1$	$M = - P \cdot L$
$W3 = W1 + (L-L1) \cdot \sin (F1)$ Перемещение свободного конца образца	
	

Где $P1$, P — значения сосредоточенной силы,

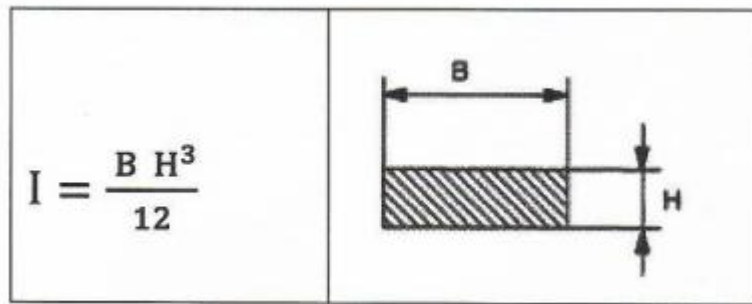
$L1$ - расстояние от точки крепления стержня до точки приложения вертикальной силы,

L - расстояние от точки крепления стержня до точки приложения горизонтальной силы

I - момент инерции поперечного сечения

E — модуль упругости ($2.1 \cdot 10^{11}$ Па для стального образца, $7 \cdot 10^{10}$ Па для алюминия)

Для балки прямоугольного сечения $B \times H$ момент инерции определяется по формуле:



Подготовка к испытанию

1. Установить и закрепить на основании стенда заднюю и переднюю П-образные опоры.
2. Установить в отверстие штока насадку - толкатель. Закрепить на задней опоре образец.
3. Установить на передней опоре электронный датчик перемещения и динамометрический электронный адаптер

Подключить стенд к компьютеру для снятия показаний с датчика силы (давления) и датчика перемещения в вертикальной плоскости.

Для этого используется специальный электронный блок, изображенный на рисунке 8.3, к которому подключаются:

- Датчик давления,
- Датчик перемещения,
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V,
- Компьютер USB-проводом в разъем PC



Рисунок 8.3 — Электронный блок

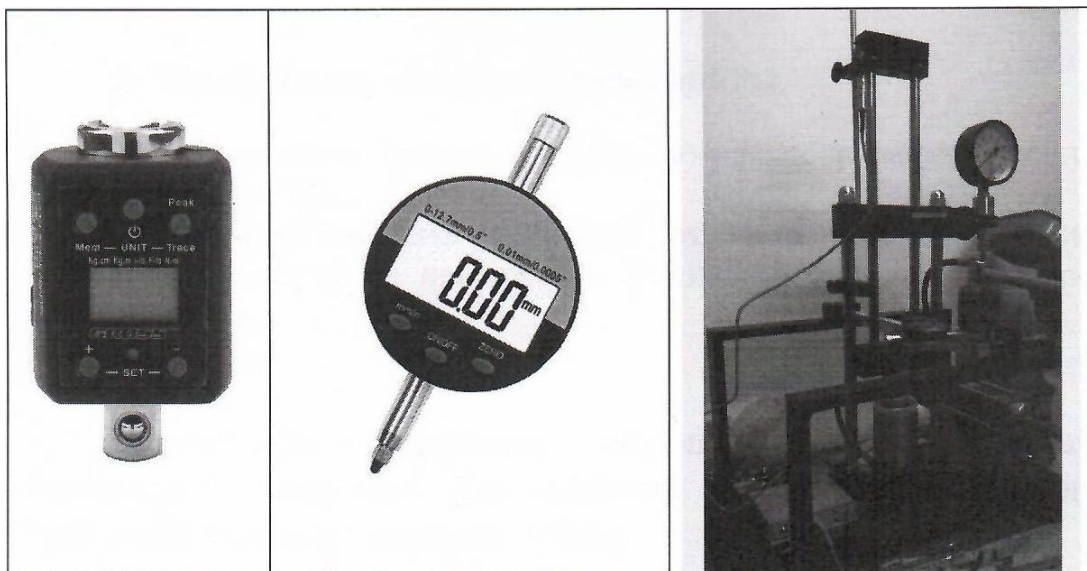


Рисунок 8.4 — Динамометрический электронный адаптер и электронный датчик перемещения, установка приборов на передней П-образной опоре

Момент силы и перемещение в горизонтальной плоскости отображаются на индикаторах электронного адаптера и датчика перемещения.

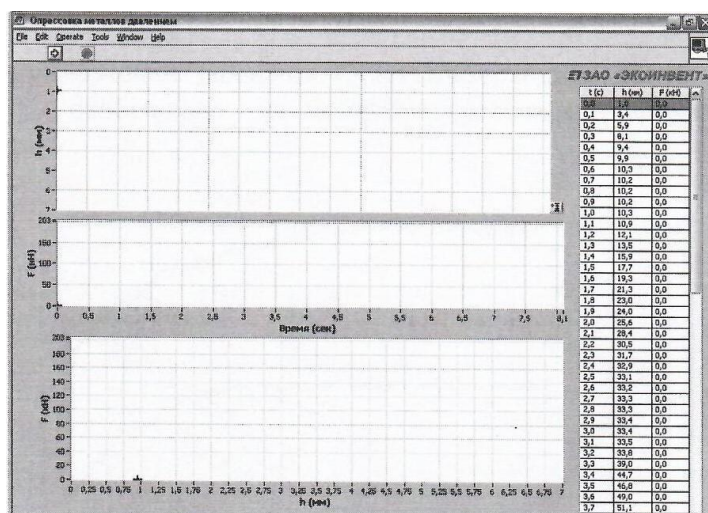


Рисунок 8.5 — Вид программы для работы со стендом
Верхнее окно — график смещения во времени
Среднее окно — график величины приложенной силы во времени
Нижнее окно — график прилагаемой силы в зависимости от смещения образца.

Проведение лабораторной работы

1) С помощью штангенциркуля измерить размеры сечения балки (определить В и Н).

2) Линейкой измерить расстояние от места крепления образца на задней опоре до точки приложения вертикальной силы и до свободного конца образца.

Важно! При нагружении образца следить за показаниями стрелочного манометра. Для избегания пластической деформации не превышать величину давления 1 МПа.

Приступить к нагружению балки, вращая штурвал по часовой стрелке.

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков и изображена на рисунке 8.6.



Рисунок 8.6 — Кнопка автоматического масштабирования графиков.

По мере увеличения давления будет происходить изгиб балки. Ее перемещение отображено на мониторе зеленым графиком (первый график) (рисунок 8.7).

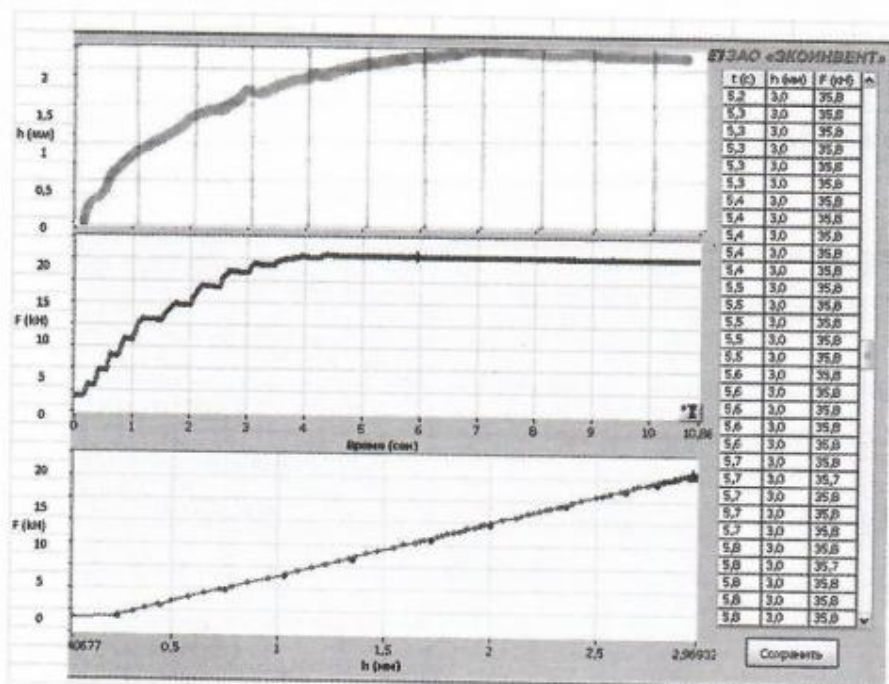


Рисунок 8.7 – Диаграмма нагружений

Рассчитать момент инерции стержня.

Для 5 значений нагрузки Р 1 произвести расчет:

Вертикальная плоскость	Расчет	Эксперимент
Значение Р1 (1) (измеренное)		
Прогиб в точке приложения силы		
Максимальный угол поворота		
Вертикальное смещение свободного конца образца		
Значение Р1 (2) (измеренное)		
Прогиб в точке приложения силы		
Максимальный угол поворота		
Вертикальное смещение свободного конца образца		
Значение Р1 (3) (измеренное)		

Нагрузив до заданной силы, и сняв показания с датчика перемещения, приступить к нагружению балки в горизонтальной плоскости (Рисунок 9.7) Вставить рычаг в электронный адаптер.

Последовательно нагружая рычаг по часовой стрелке, фиксировать образец с помощью упорного винта и снимать показания адаптера Р и цифрового датчика перемещения. Нагружение производить до максимального перемещения 5 мм с шагом 1 мм.

Горизонтальная плоскость	Расчет	Эксперимент
Значение Р (1) (измеренное)		
Прогиб смещение конца образца		
Максимальный угол поворота		
Значение Р (2) (измеренное)		
Прогиб в точке приложения силы		
Максимальный угол поворота		
Значение Р (3) (измеренное)		

Для 5 пар значений Р1 и Р построить вектор смещения конца образца.

Контрольные вопросы

1. Перечислите простые виды деформации.
2. Что такое сложное сопротивление?
3. Где находятся максимальные напряжения при изгибе консольной балки?
4. Как выглядит формула момента инерции балки прямоугольного сечения?
5. Как распределены напряжения по сечению консольной балки при изгибе?

Лабораторная работа 9

Испытание цилиндрической винтовой пружины на сжатие

Упругие элементы - гибкие детали основным рабочим свойством которых является способность существенно деформироваться под нагрузкой.

Пружина – деталь машины или механизма, служащая для временного накопления энергии за счет упругой деформации под влиянием нагрузки. По прекращении действия нагрузки пружина отдает накопленную энергию и восстанавливает свою первоначальную форму.

Пружины используются в различных машинах и приборах. При помощи их создается постоянная сила нажатия и натяжения между деталями машины или прибора (во фрикционных передачах, муфтах, тормозах и т.п.), виброизоляция, автоматизация ударов (амортизаторы, буферы, рессоры и т.п.), аккумулялирование энергии с последующим использованием пружины как двигателя (часовые и прочие пружины), измерение сил (в динамометрах и других измерительных приборах).

В машиностроении чаще используются пружины из круглой проволоки, т.к. они дешевле других, лучше работают на кручение. Пружины с витками квадратного и прямоугольного сечения применяют при больших нагрузках, а также когда из-за сложности навивки пружины нужно вырезать из трубы, – это пружины сжатия. В массовом и крупносерийном производстве витые пружины изготавливают на специальных станкахавтоматах, в остальных случаях – на токарных станках.

Краткие теоретические сведения

По форме и конструкции пружины бывают витые, цилиндрические, конические, тарельчатые, кольцевые, стержневые, блочные, спиральные, плоские, рессоры.

По виду нагружения различают пружины растяжения, сжатия, кручения и изгиба. Примерная классификация пружин по указанным признакам приведена

на рисунке 9.1. В различных машинах и конструкциях применяют винтовые цилиндрические пружины с малым шагом витков (угол подъема витков $\alpha < 10 - 12^\circ$), подвергающиеся воздействию растягивающих или сжимающих сил.

При проектировании таких пружин необходимо вычислить наибольшие напряжения (для оценки прочности) и деформации (для регулировки нагрузки). Материал пружин под воздействием сжимающих или растягивающих сил в основном испытывает кручение.

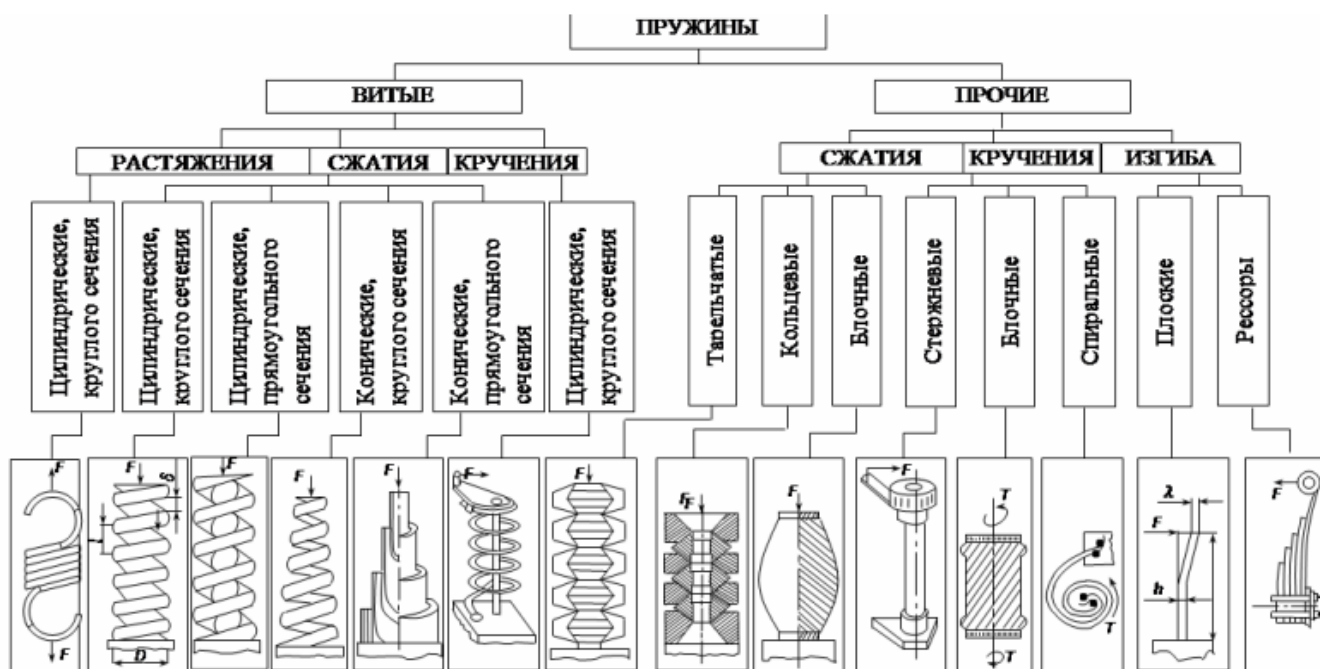


Рисунок 9.1 Классификация пружин

Наибольшее применение получили цилиндрические спиральные пружины, работающие на растяжение и сжатие. Цилиндрическая спиральная пружина может рассматриваться как пространственно изогнутый брус, осевая линия которого, в простейшем случае, представляет собой винтовую линию. Форма осевой линии пружины определяется диаметром витка D , числом витков n и шагом пружины S , который зависит от угла подъема α (рисунок 9.2). Упругие свойства пружины зависят от параметров D , n , формы и размеров сечения витка. Обычно пружины изготавливаются (навиваются) из круглой стальной проволоки с поперечным сечением диаметром d .

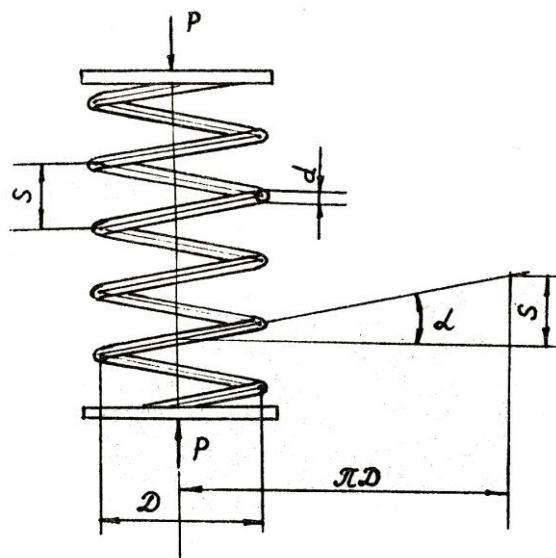


Рисунок 9.2 – Цилиндрическая спиральная пружина

При действии на пружину центрально приложенной нагрузки происходит перемещение её концов – осадка пружины λ . Осадка пружины определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{8PD^3n}{Gd^4}, \quad (9.1)$$

где P – внешняя сила;

D – средний диаметр витка пружины;

n – число рабочих витков;

d – диаметр проволоки пружины;

G – модуль сдвига материала пружины

$$D = D_n - d$$

D_n – наружный диаметр пружины.

Помимо осадки характеристикой пружины является её жёсткость. Жёсткость пружины C – это величина силы P , при которой осадка пружины равна единице длины (например, 1 см). С учётом формулы (9.1) жёсткость пружины равна:

$$C = \frac{P}{\lambda} = \frac{Gd^4}{8D^3n}. \quad (9.2)$$

Между осадкой λ и силой P существует линейная зависимость. Поэтому жёсткость пружины C является постоянной и определяется по формуле:

$$C = \frac{\Delta P}{\lambda_{cp}} \quad (9.3)$$

где ΔP - нагрузка, соответствующая ступени нагружения;

λ_{cp} - среднее значение осадки пружины на ступень нагружения.

Для экспериментального определения жёсткости необходимо получить зависимость осадки λ от силы P .

Цель работы

Экспериментальное определение осадки и жёсткости – характеристик цилиндрических пружин и сравнение их с теоретическими значениями.

Задачи работы

1. Изучить методику проведения испытаний на сжатие.
2. Определить теоретические и экспериментальные значения осадки и жёсткости пружин №1 и №2
2. Построить зависимость деформации пружины от осевой нагрузки.
3. Сопоставить полученную осадку пружины в ходе эксперимента с расчетной.
4. Проанализировать полученные результаты.

Оборудование, инструмент

1. Винтовая цилиндрическая пружина сжатия (рисунок 9.3). Модуль упругости при сдвиге материала проволоки $G = 8 \cdot 10^5 \text{ кг} / \text{см}^2 = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

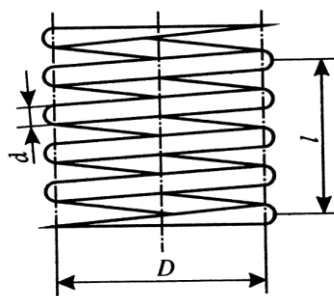


Рисунок 9.3 Пружина сжатия винтовая цилиндрическая

2. Штангенциркуль ШЦ-I – универсальный инструмент, предназначенный для высокоточных измерений наружных и внутренних размеров, глубин отверстий. Штангенциркуль имеет измерительную штангу (отсюда и название этой группы) с основной шкалой и нониус – вспомогательную шкалу для отсчета долей делений. Точность его измерения – десятые/сотые (у разных видов) доли миллиметра (рисунок 9.4).

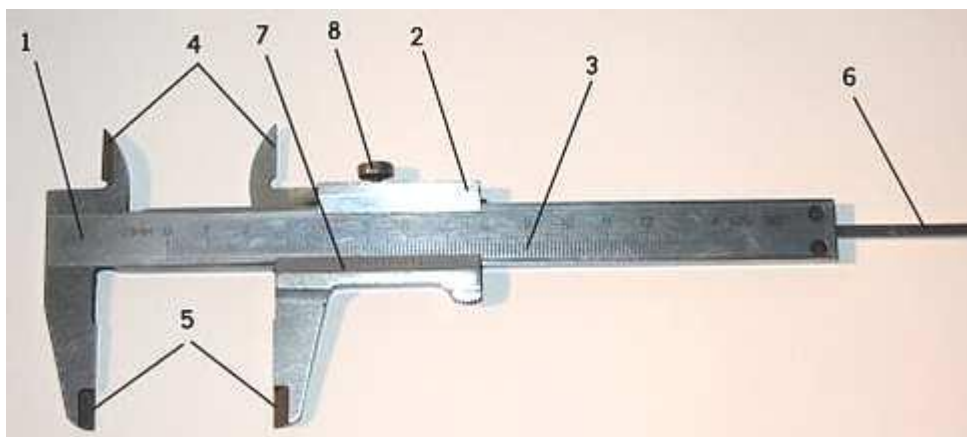


Рисунок 9.4 Штангенциркуль ШЦ-I:

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

3. Испытательная машина: лабораторная установка для испытаний материалов УИМ – 2 ПС (рисунок 9.5).



Рисунок 9.5 – Универсальная машина для исследования свойств материала
УИМ – 2 ПС

4. Персональный компьютер (ноутбук)

Подготовка к испытанию

Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой. Начните сборку с установки приспособления удерживающего пружину в нижнюю траверсу. Оно изображено на рисунке 9.6. Вставьте шток 1 в нижнюю траверсу и прикрутите гайкой 2.

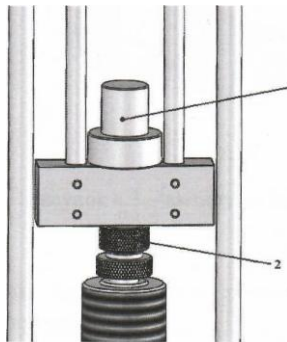


Рисунок 9.6- собранное приспособление

Далее оденьте на шток пружину, и шайбу (рисунок 9.7).

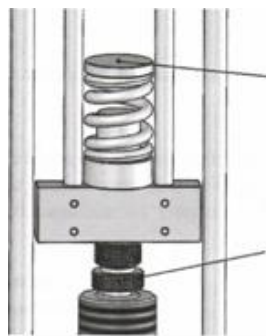


Рисунок 9.7 — Собранная установка

Как видно из рисунка 9.7, шайба 1 не достаёт до средней траверсы. Для удаления зазора, выкрутите упорный винт 2, либо вместо гайки прикрученной к штоку, прикрутите вытянутую гайку изображенную на рисунке 9.8.

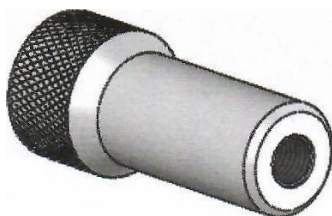


Рисунок 9.8 — Вытянутая гайка

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 9.9).



Рисунок 9.9— Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 9.10. Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления;

- Датчик перемещения;
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V;
- Компьютер USB - проводом в разъем PC



Рисунок 9.10 — Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При испытании на сжатие цилиндрической пружины нижняя и верхняя траверсы, вместе с балкой и опорами перемещаются вверх, упирая шайбу в среднюю траверсу. Датчик перемещения закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 9.11). А стержень датчика в свою очередь закреплен за верхнюю траверсу, и двигается вместе с ней.

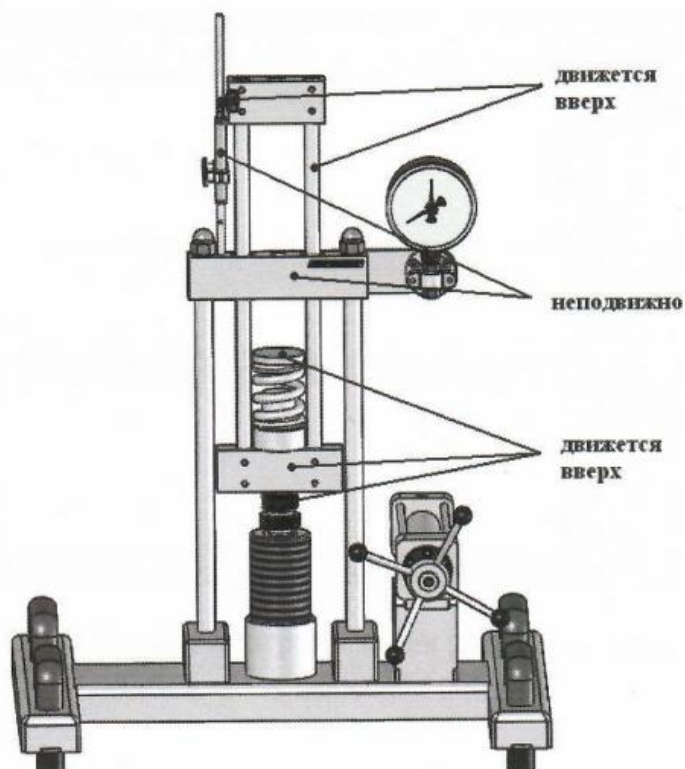


Рисунок 9.11— Направления перемещения частей стенда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стендом (рисунок 9.12). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствие чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

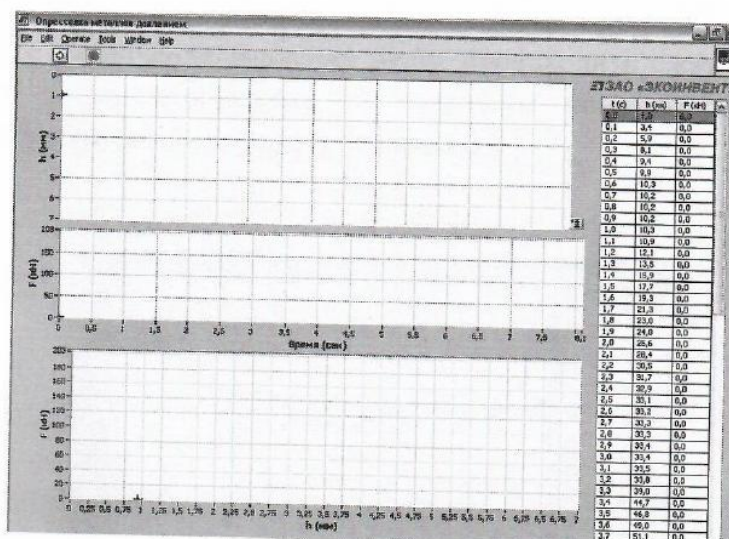


Рисунок 9.12 – Вид программы для работы со стендом

Проведение лабораторной работы

1. Для двух исследуемых пружин необходимо: измерить геометрические параметры - наружный диаметр пружины D_H ; внутренний диаметр пружины D_B ; диаметр проволоки пружины d ; вычислить средний диаметр пружины: $D = 1/2 \cdot (D_H + D_B)$; посчитать число витков пружины n . Результаты измерений занести в таблицу 9.1.
2. Установить пружину на испытательную установку. С помощью штангенциркуля измерить расстояние A от основания до нижней границы нагружающего фланца.
3. Приступите к нагружению пружины, для этого необходимо вращать штурвал по часовой стрелке.

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков.

По мере увеличения давления будет происходить сжатие пружины. Величина сжатия пружины будет отображен на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 9.11).

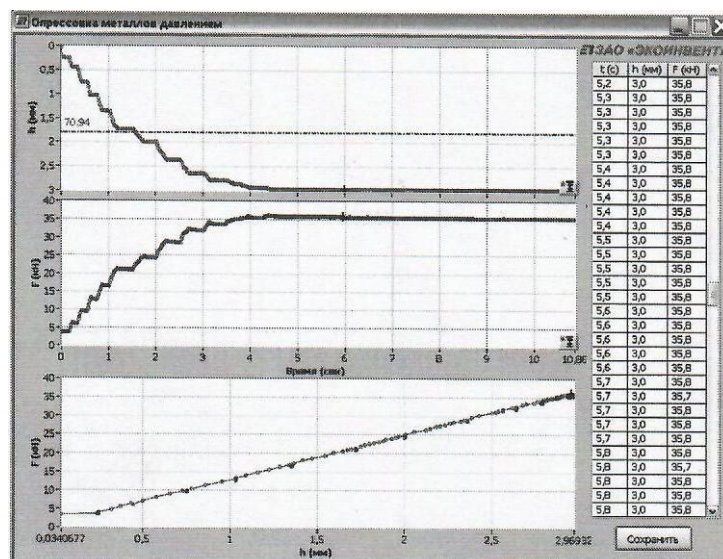


Рисунок 9.11 — Внешний вид программного обеспечения

На третьем, синем, графике будет изображена упругая характеристика пружины. Нагрузив до заданной силы, и сняв показания с датчика перемещения, пружину необходимо разгрузить, вращая штурвал против часовой стрелки.

Результаты измерений занести в таблицу 9.2 (первое нагружение).

4. Разгрузить пружину. Повторить опыт. Результаты измерений занести в таблицу 9.2 (второе нагружение).

5. Для каждого нагружения определить разность отсчётов ΔA - осадку пружины, соответствующую ступени нагружения. Вычислить среднее значение осадки пружины для каждого нагружения и результаты занести в таблицу 9.2. По результатам двух нагружений определить среднее значение осадки пружины, приходящееся на ступень нагружения. Результат занести в таблицу 9.2 и таблицу 9.4.

6. Пункты 2 - 5 проделать для второй пружины. Результаты измерений занести соответственно в таблицу 9.3 и таблицу 9.4.

7. По формулам (9.1) и (9.2) определить теоретические значения осадки и жёсткости для обеих пружин при нагрузках, равных ступеням нагружения эксперимента. Результаты занести в таблицу 9.4.

8. По формуле (9.3) вычислить экспериментальные значения жесткости C для обеих пружин. Результаты занести в таблицу 9.4.

9. Определить расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями осадки и жесткости обеих пружин в процентах по формулам:

$$\delta_{\lambda} = \frac{|\lambda_{теор} - \lambda_{эксп}|}{\lambda_{теор}} \cdot 100\%; \quad \delta_C = \frac{|C_{теор} - C_{эксп}|}{C_{теор}} \cdot 100\%.$$

Результаты занести в таблицу 5.4.

10. По экспериментальным данным первого нагружения для обеих пружин построить графики зависимости осадки λ от силы P .

11. Оформить отчет по прилагаемой форме 5.4.

Образец отчета

Исследование характеристик цилиндрических пружин при сжатии

Тема:

Цель работы:

Задачи работы:

Используемое оборудование:

Результаты испытаний и расчетов.

Таблица 9.1 – Параметры исследуемых пружин

№	Наименование параметров	Пружина №1	Пружина №2
1	Материал проволоки		
2	Наружный диаметр пружины D_H (мм)		
3	Внутренний диаметр пружины D_B (мм)		
4	Средний диаметр пружины D (мм)		
5	Диаметр проволоки d (мм)		
6	Число витков n		

Таблица 9.2 Результаты измерений осадки пружины №1

№	Нагрузка P (кг, Н)	первое нагружение		второе нагружение	
		отсчет A (мм)	разность отсчетов ΔA (мм)	отсчет A (мм)	разность отсчетов ΔA (мм)
0					
1					
2					
3					
Среднее значение осадки для каждого нагружения		$\lambda_1 = \Delta A_{cp} =$		$\lambda_2 = \Delta A_{cp} =$	
Среднее значение осадки на ступень нагружения		$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$			

Таблица 9.3 – Результаты измерений осадки пружины №2

№	Нагрузка P (кг, Н)	первое нагружение		второе нагружение	
		отсчет A (мм)	разность отсчетов в ΔA (мм)	отсчет A (мм)	разность отсчетов ΔA (мм)
0					
1					
2					
3					
Среднее значение осадки для каждого нагружения		$\lambda_1 = \Delta A_{cp} =$		$\lambda_2 = \Delta A_{cp} =$	
Среднее значение осадки на ступень нагружения		$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$			

1. Определение теоретических значений осадки и жёсткости пружин №1 и №2 (формулы (9.1) и (9.2)).

2. Определение экспериментального значения жёсткости пружин №1 и №2 (формула (5.3)).

3. Сравнение экспериментальных и теоретических значений

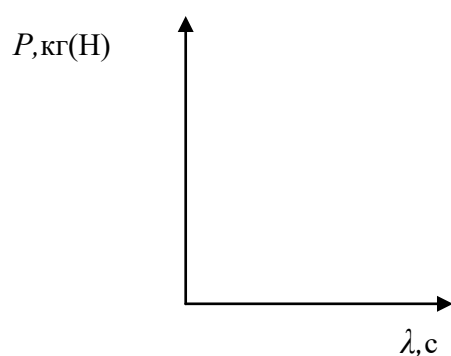
$$\eta = \frac{\Delta\lambda_{оп} - \Delta\lambda_{теор}}{\Delta\lambda_{оп}} 100\%.$$

Таблица 9.4

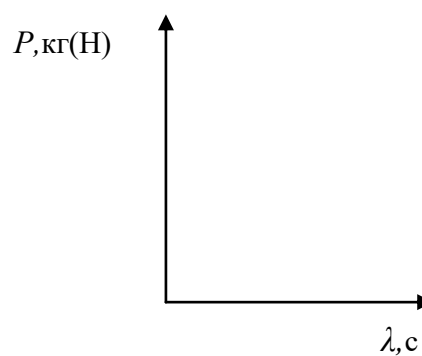
Характеристики пружины	Пружина №1			Пружина №2		
	Теор.	Эксп.	Расхожд. в%	Теор.	Эксп.	Расхожд. в%
Осадка пружины λ на ступень нагружения (см)						
Жёсткость C (кг/см, Н/см)						

4. Графики зависимости осадки λ от силы P

Пружина №1



Пружина №2



5. Выводы

Примечание: в выводах необходимо отметить следующее:

как зависит осадка пружины от внешней нагрузки;

какие основные характеристики пружины определены в работе;

каковы расхождения между экспериментальными и теоретическими значениями осадки и жёсткости пружин и чем эти расхождения можно объяснить.

Контрольные вопросы

1. Что называется пружиной? В каких машинах и приборах их используют?
2. Какие классификации пружин существуют?
3. В чем состоит сущность испытания пружины на сжатие?
4. Дайте определение модуля сдвига.
5. Чему равен модуль упругости для стали?
6. Что понимают под осадкой пружины и как она определяется?
7. Что называют характеристикой пружины?
8. Как построить график экспериментальной характеристики пружины?
9. Изменяется ли средний диаметр пружины при ее деформации?
10. Опишите полученный график зависимости $\lambda = f(P)$.
11. Что такое упругая характеристика, и какая она бывает?
12. Что такое жесткость?
13. Что такое чувствительность?
14. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях витых цилиндрических пружин растяжения (сжатия) при их нагружении?
15. Каковы основные параметры цилиндрических спиральных пружин?
16. Как зависят осадка и жесткость пружин от ее конструктивных размеров и упругих свойств материала пружины?

Литература

1. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения : ГОСТ 116118-70.

2. Александров, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров. – М. : Высш. шк., 2000
3. Афанасьев, А.М. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов /А.М. Афанасьев. – М. : Наука, 1975.
4. Первицкий, Л.В. Механика материалов : учеб.-метод. комплекс для студентов машиностроит. специальностей. В 4 ч. Ч. 2 / Л.В. Первицкий. – Новополоцк : ПГУ, 2009.
5. Инструкция по эксплуатации МИП-100-2. – М. : 17 с.
6. Рудицын, Н.М. Справочное пособие по сопротивлению материалов /Н.М. Рудицын, П.Я. Артемов, М.И. Любошиц. – Минск : Высш. шк., 1970. – 630 с.

Лабораторная работа 10

Исследование механических свойств тарельчатых пружин при сжатии

Цель работы

Построение диаграммы перемещения/сжимающая сила.

Инструменты и оборудование

- Испытательная машина УИМ -2
- Набор тарельчатых пружин
- Персональный компьютер (ноутбук)
- Электронный блок

Краткие теоретические сведения

Упругие элементы - гибкие детали основным рабочим свойством которых является способность существенно деформироваться под нагрузкой.

Пружины входят в состав большинства технических устройств. Рабочими характеристиками пружины называются такие параметры, которые характеризуют способность элемента к деформации. К ним относятся:

- Упругая характеристика;
- Жесткость;
- Чувствительность;

Упругой характеристикой называется зависимость между перемещением определенной точки упругого элемента и нагрузкой. Упругая характеристика может быть представлена в виде аналитической зависимости, таблицы или графика. Упругая характеристика в свою очередь, бывает:

- Линейная (рисунок 10.1)
- Не линейная (рисунок 10.2)

Не линейная характеристика свойственная, цилиндрическим пружинам, у которых интервал между витками не постоянен.

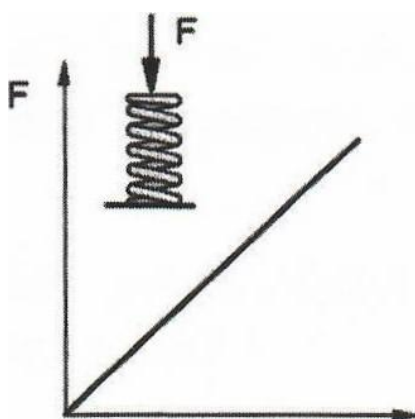


Рисунок 10.1 - Линейная упругая характеристика цилиндрической пружины

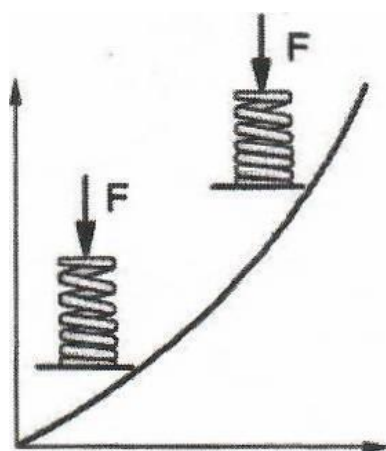


Рисунок 10.2 — Не линейная упругая характеристика цилиндрической пружины

Жесткость k показывает, какую нагрузку следует приложить к пружине, чтобы вызвать деформацию x , равную единице:

$$k = \frac{F}{x} \quad (10.1)$$

Формула (10.1) справедлива только для пружин с линейной упругой характеристикой! Единица измерения жесткости [н/м].

Чувствительность δ — величина обратная жесткости, и показывает деформацию, которая получается при изменении силы нагрузки P , равном единице.

$$\delta = \frac{1}{k} = \frac{x}{F} \quad (10.2)$$

Чувствительность подобно жесткости имеет разные значения в различных точках нелинейной упругой характеристики и постоянна у пружин с линейной упругой характеристикой. Единица измерения чувствительности [м/н].

В данной лабораторной работе будут рассмотрены тарельчатая пружина, изображенная на рисунке 10.3.

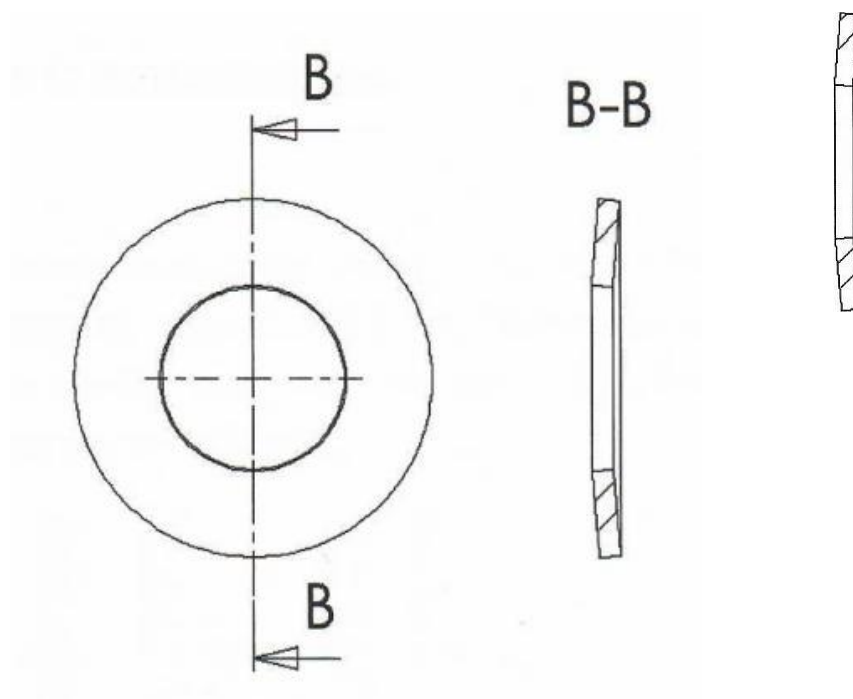


Рисунок 10.3 — Тарельчатая пружина

Особым свойством данных пружин — является способность выгибаться в обратную сторону (рисунок 10.4). При достижении нагрузки критического значения данные пружины демонстрируют неустойчивое положение.

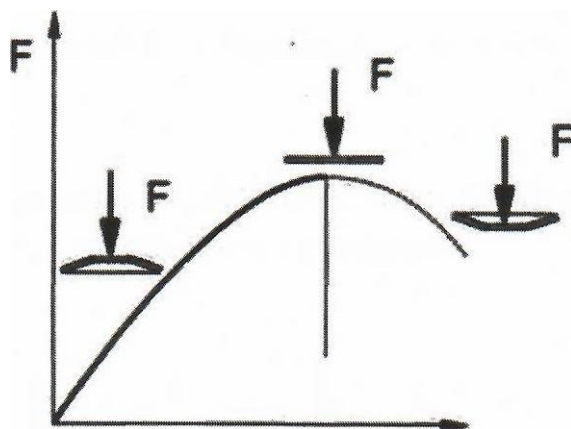


Рисунок 10.4 — График поведения тарельчатых пружин

Как видно из рисунка 10.4 данные пружины относятся к классу не линейных упругих элементов.

Подготовка к испытанию

Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой. Начните сборку с установки приспособления удерживающего пружину в нижнюю траверсу. Оно изображено на рисунке 10.5. Вставьте шток 1 в нижнюю траверсу и прикрутите гайкой 2.

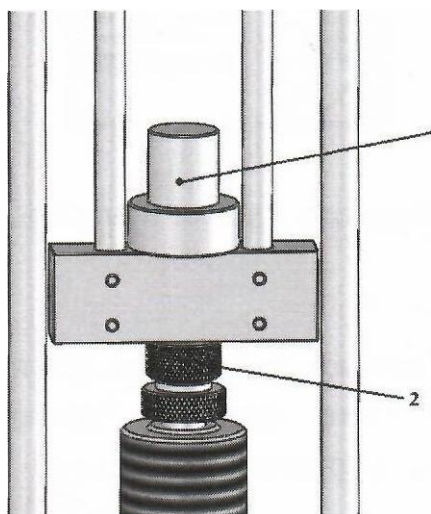


Рисунок 10.5- Собранное приспособление

Далее как изображено на рисунках 10.6 и 10.7 наденьте на шток пакет тарельчатых пружин 1, и придавите их стаканом 2.

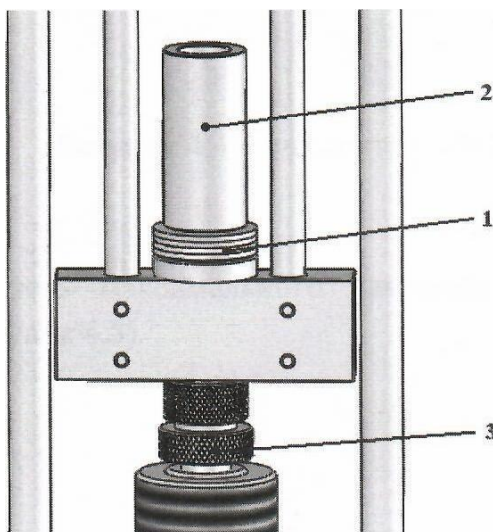


Рисунок 10.6 — Собранная установка

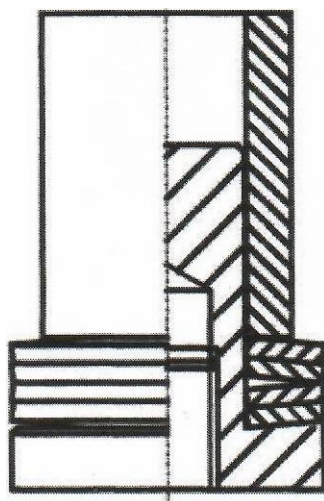


Рисунок 10.7 — Шток, стакан и пакет тарельчатых пружин в разрезе

Как видно из рисунка 10.7, стакан 2 не достаёт до средней траверсы. Для удаления зазора, выкрутите упорный винт 3, либо вместо гайки прикрученной к штоку, прикрутите вытянутую гайку изображенную на рисунке 10.8.



Рисунок 10.8 — Вытянутая гайка

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 10.9).



Рисунок 10.9— Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 10.10. Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления;
- Датчик перемещения;
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V;
- Компьютер USB - проводом в разъем PC



Рисунок 10.10— Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При испытании на сжатие тарельчатой пружины нижняя и верхняя траверсы, вместе с балкой и опорами перемещаются вверх, упирая шайбу в среднюю траверсу. Датчик перемещения закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 10.11). А стержень датчика в свою очередь закреплен за верхнюю траверсу, и движется вместе с ней.

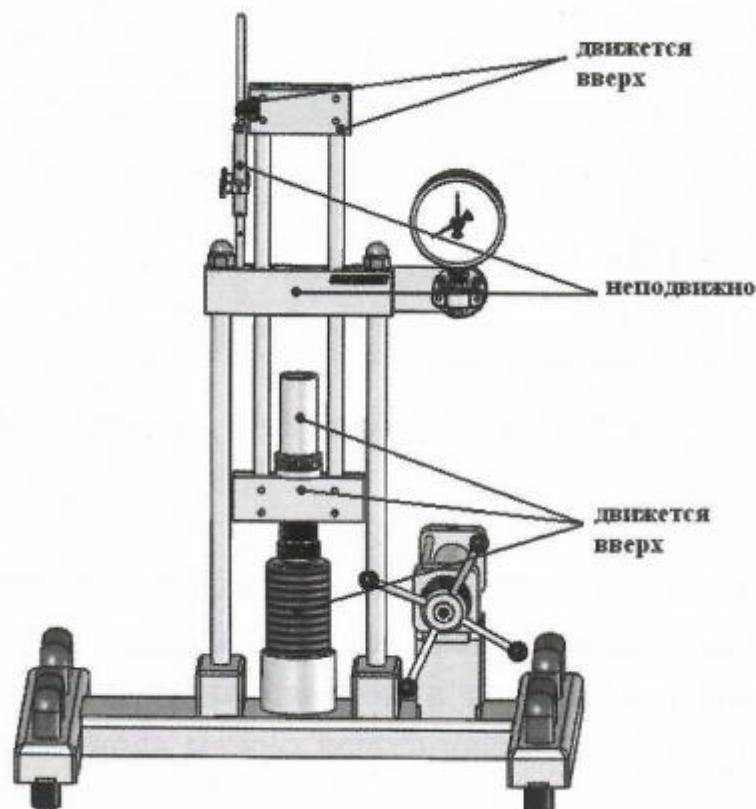


Рисунок 10.11— Направления перемещения частей стенда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со стендом (рисунок 10.12). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствии чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

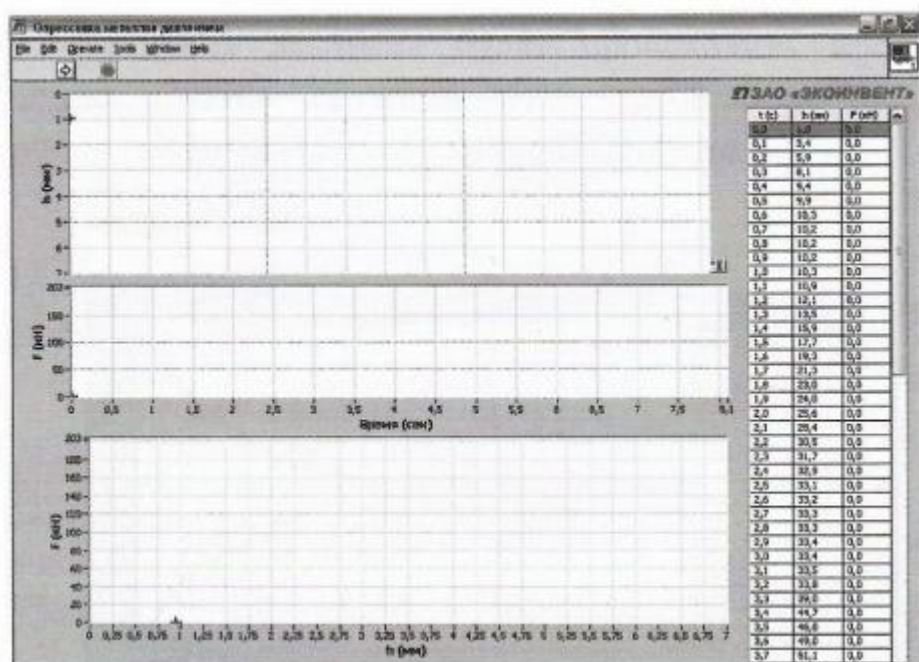


Рисунок 10.12 – Вид программы для работы со стендом

Проведение лабораторной работы

Приступите к нагружению пружины, для этого необходимо вращать штурвал по часовой стрелке.

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать кнопку для автоматического масштабирования.

По мере увеличения давления будет происходить продавливание пружины. Величина сжатия пружины будет отображен на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 10.13).

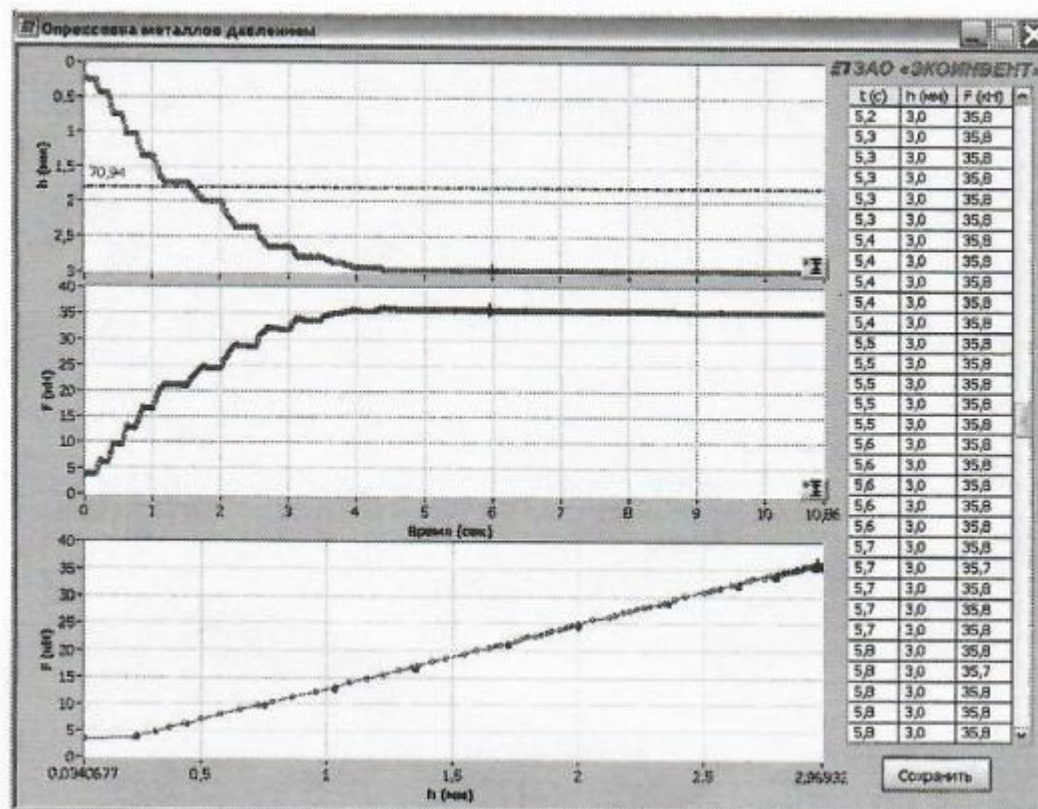


Рисунок 10.13 — Внешний вид программного обеспечения

На третьем, синем, графике будет изображена упругая характеристика тарельчатой пружины. Нагрузив до заданной силы, и сняв показания с датчика перемещения, пружину необходимо разгрузить, вращая штурвал против часовой стрелки.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные рабочие характеристики пружины?
2. Что такое упругая характеристика, и какая она бывает?
3. Что такое жесткость?
4. Что такое чувствительность?
5. В чем особенность тарельчатых пружин?

Лабораторная работа 11

Исследование механических свойств тонких пластин при глубокой вытяжке

Цель работы

Определить пригодность тонких металлических листов (толщина не более 2мм) для глубокой вытяжки.

Инструменты и оборудование

- Испытательная машина (рисунок 11.1)
- Пластина
- Персональный компьютер (ноутбук)
- Электронный блок

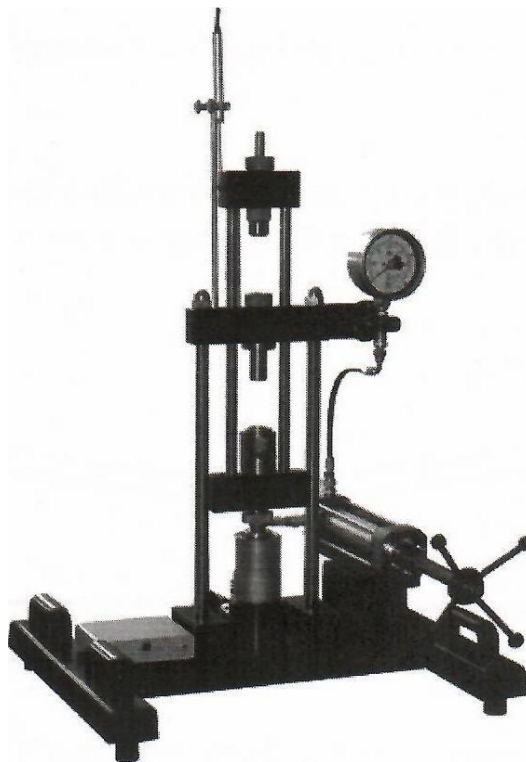


Рисунок 11.1 — Универсальная машина для исследования свойств материала.

Краткие теоретические сведения

Данная лабораторная работа разработана, чтобы определить пригодность тонких металлических листов (толщина не более 2мм) для глубокой вытяжки.

В эксперименте для глубокой вытяжки используется специальный образец листового металла, покрытый краской. Его испытывают с помощью сферического штампа, вдавливая данный штамп пока на листе не появится трещина. Глубина t (рисунок 11.2) полученного углубления характеризует качество листа для глубокой вытяжки.

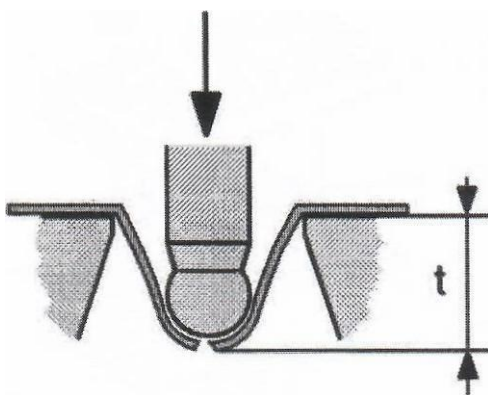


Рисунок 11.2 — Глубокая вытяжка пластины

Соответственно чем больше величина t тем более пластичный материал.

Подготовка к испытанию

Для начала определите толщину металлического листа с помощью трех измерений. Окрасьте исследуемый образец краской. Далее подготовьте приспособление удерживающее пластину. Оно изображено на рисунке 11.3 и состоит из двух болтов 1, верхней плиты 2, испытуемой пластины 3, нижней плиты 4, штока с зеркальцем 5.

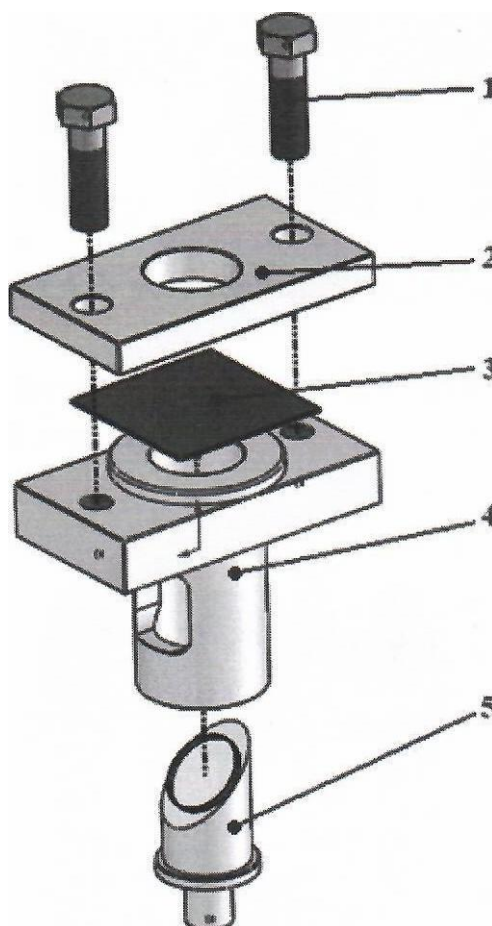


Рисунок 11.3 - Сборка приспособления для испытания

Как видно из рисунка 11.3 пластина, окрашенной стороной вниз, устанавливается между верхней и нижней плитой и зажимается двумя винтами, после чего вставляется шток с зеркальцем. Далее данное приспособление необходимо установить в стенд, в нижнюю траверсу (рисунок 11.4). Зона сжатия в стенде находится между средней и нижней траверсой.

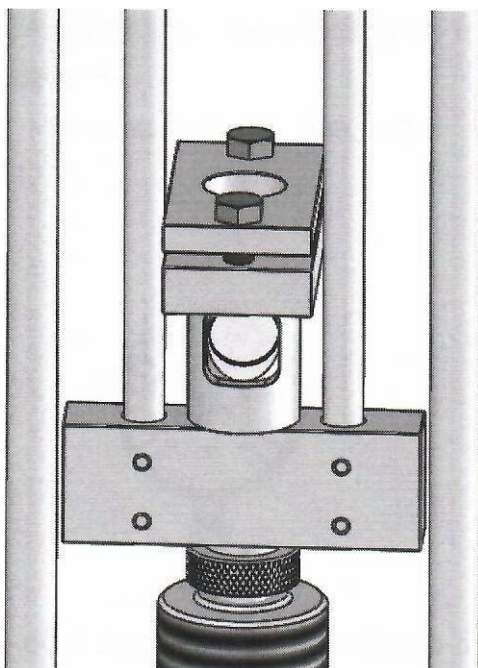


Рисунок 11.4- Установленное приспособление

Далее, как видно из рисунка 11.5, в среднюю траверсу установите пуансон 2 и зафиксируйте его гайкой 1.

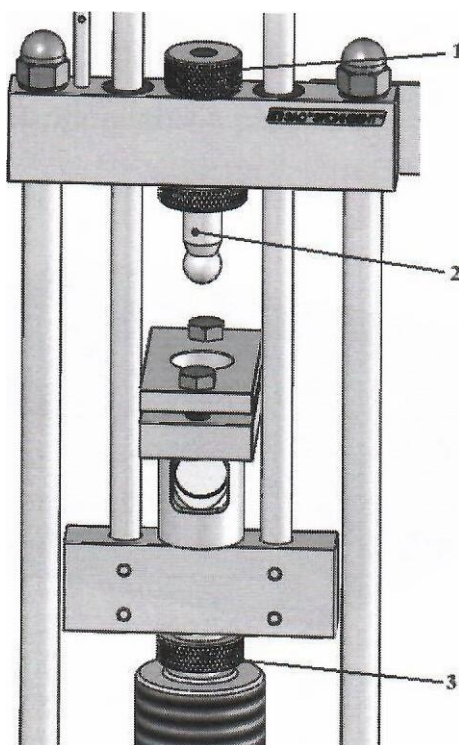


Рисунок 11.5 —Установка в сборе

Как видно из рисунка 11.5, пуансон 2 не достаёт до образца. Для удаления зазора, выкрутите упорный винт 3.

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 11.6).



Рисунок 11.6 - Обнуление максимального давления

Далее подключим стенд к компьютеру для снятия показаний с датчиков и получения диаграммы растяжения. Для этого используем специальный электронный блок, изображенный на рисунке 11.7. Подключите к нему следующие устройства:

- Датчик давления;
- Датчик перемещения;
- Блок питания на 24В в разъем DC/24V;
- Компьютер USB - проводом в разъем PC



Рисунок 11.7 — Электронный блок

Завершающим шагом подготовки к проведению лабораторной работы будет настройка датчика перемещения. Основная цель данного этапа: выставить показания датчика в ноль. Показания датчика будем наблюдать на компьютере.

При испытании на глубокую вытяжку тонких пластин нижняя и верхняя траверсы, вместе с балкой и опорами перемещаются вверх, упирая стакан в среднюю траверсу. Датчик перемещения закреплен неподвижно относительно средней траверсы (рисунок 11.8). А стержень датчика в свою очередь закреплен за верхнюю траверсу, и двигается вместе с ней.

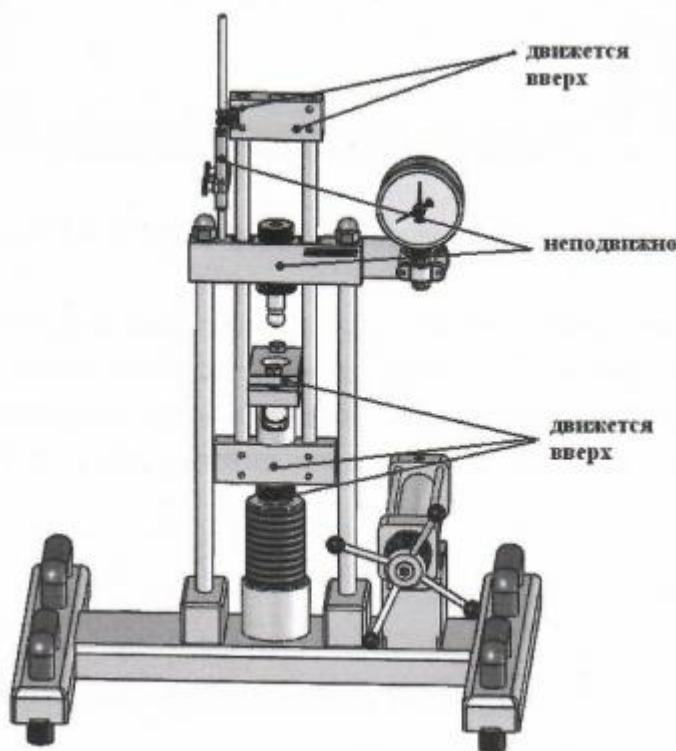


Рисунок 11.8 — Направления перемещения частей станда

Следовательно, перед проведением испытаний, стержень необходимо задвинуть в датчик. Следует отметить, что датчик работает не на всем диапазоне перемещения стержня. В крайних положениях стержня присутствует зона нечувствительности, выявить которую можно с помощью ПК. Для этого запустим специальный программный продукт, предназначенный для работы со станком (рисунок 11.9). Если стержень находится в зоне нечувствительности, данные с датчика перестают передаваться в программу, в следствие чего программа переходит в режим ожидания, и каких либо изменений на графиках происходить не будет.

Выдвигая стержень необходимо отслеживать показания датчика на компьютере. Добившись отображением на графике нулевого перемещения, необходимо зафиксировать датчик винтом в специальном креплении. Для более точной доводки в ноль можно использовать гайку на конце стержня датчика.

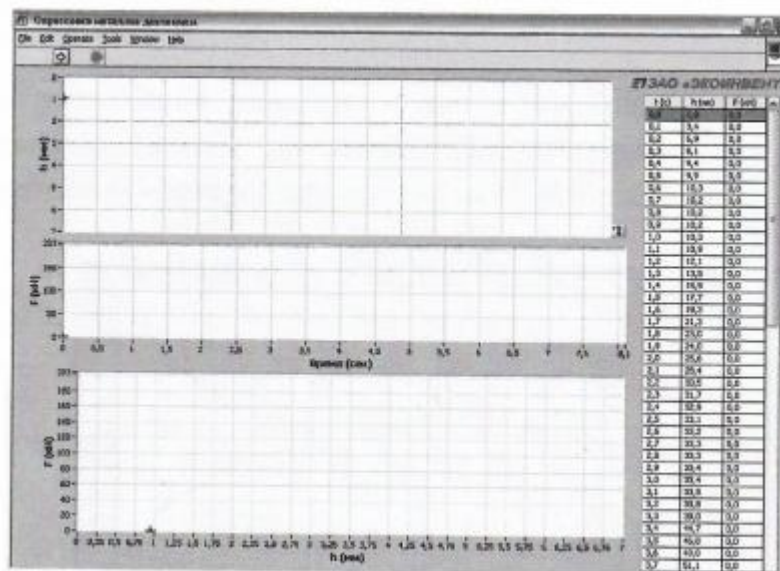


Рисунок 11.9 – Вид программы для работы со стендом

Проведение лабораторной работы

Приступите к вытяжки пластины, для этого необходимо вращать штурвал по часовой стрелке. Подавайте нагрузку на систему постепенно и медленно, пока не появится первая трещина. Наблюдайте волочение с помощью зеркала.

Приложенная сила будет отображаться на мониторе красным графиком (второй график). В случае выхода графика за пределы шкалы, следует нажать кнопку для автоматического масштабирования. Она находится в правом нижнем углу графиков и изображена на рисунке 11.10.



Рисунок 11.10 — Кнопка автоматического масштабирования графиков.

По мере увеличения давления будет происходить продавливание пружины. Величина сжатия пружины будет отображен на мониторе компьютера зеленым графиком (первый график) (рисунок 11.11).

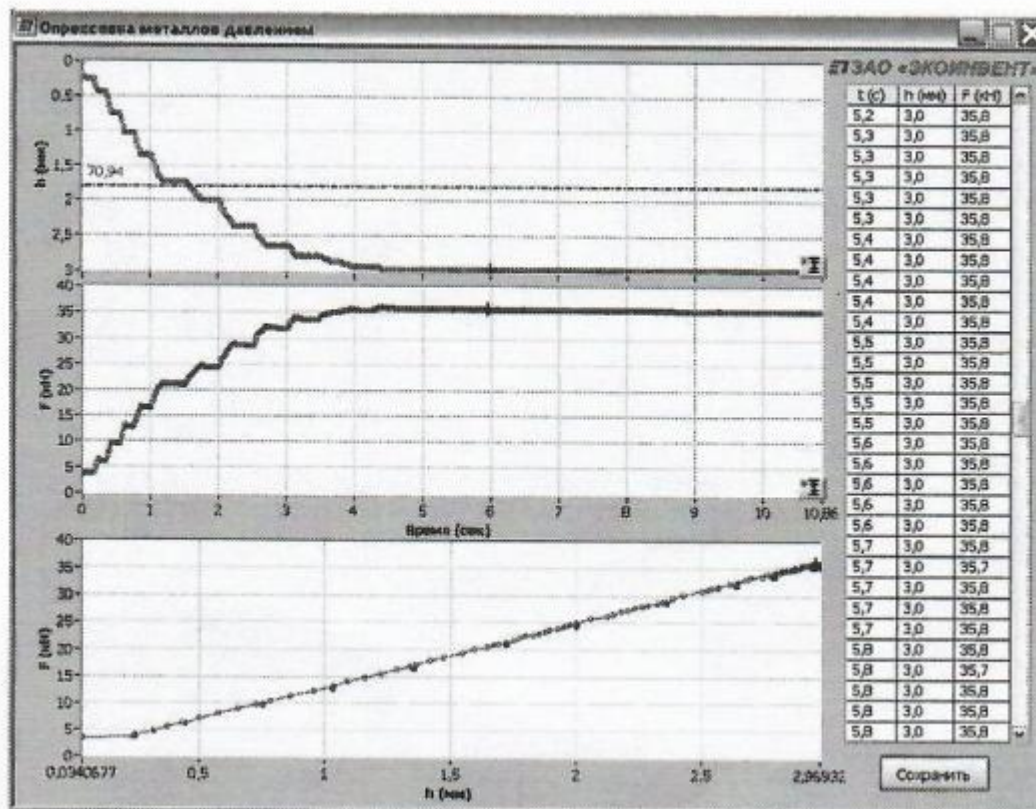


Рисунок 11.11 — Внешний вид программного обеспечения

На третьем, синем, графике будет изображена упругая характеристика тарельчатой пружины. Нагрузив до заданной силы, и сняв показания с датчика перемещения, пружину необходимо разгрузить систему, вращая штурвал против часовой стрелки.

6. Контрольные вопросы

1. Какая практическая цель данной лабораторной работы?
2. Как происходит подготовка к лабораторной работе?
3. Что характеризует величина t ?



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический университет»
Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций сертифицирована
ООО «ДКС РУС» по международному стандарту ISO 9001:2015

Институт Морских технологий, энергетики и транспорта

Направление подготовки _____

Профиль _____

Кафедра Общеинженерные дисциплины и наземный транспорт

Отчет по лабораторным работам работам
по дисциплине: Сопротивление материалов

Работа выполнена студентом группы _____

ФИО студента

Проверил работы

уч. степень, уч. звание ФИО
преподавателя

Астрахань 20____