



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

ИСЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Методические указания к лабораторной работе № 1
по курсу «Сопротивление материалов»
для студентов технических специальностей

Астрахань 2024 г.

Авторы: доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт»
С.Б. Джахьяева

Рецензент: Дульгер Н.В., к.т.н. доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт»

В методических указаниях изложены теоретические основы проведения испытаний металлов на растяжение, представлена методика обработки полученных экспериментальных данных и определения величин основных механических характеристик прочности и пластичности материалов.

Методические указания для практических занятий по дисциплине «Технические средства организации дорожного движения» утверждены на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины и транспорт», протокол № 6 от 28 июня 2024 г.

© Астраханский государственный технический университет

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1. Цель работы.	4
2. Задачи работы.	4
3. Оборудование, инструменты.	4
4. Образцы.	5
5. Диаграмма растяжения.	6
6. Диаграмма условных напряжений.	8
7. Проведение испытания.	10
8. Обработка результатов испытания.	11
9. Форма отчета.	14
10. Вопросы для контроля.	14
Литература.	15

ВВЕДЕНИЕ

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].

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

2. 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.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ

1. Испытательная машина (рисунок 3.1).
2. Образцы
3. Штангенциркуль.
4. Персональный компьютер (ноутбук)
5. Электронный блок.

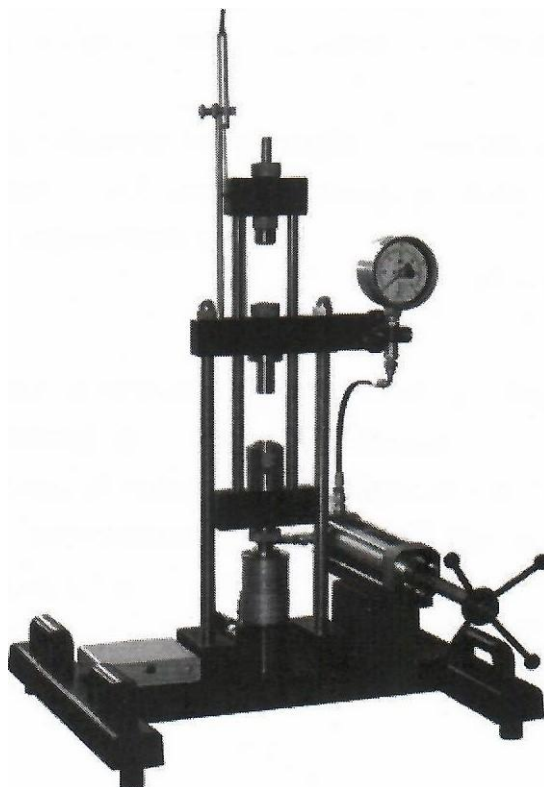


Рисунок 3.1 — Универсальная машина для исследования свойств материала.

4. 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 4.1а, б, в.

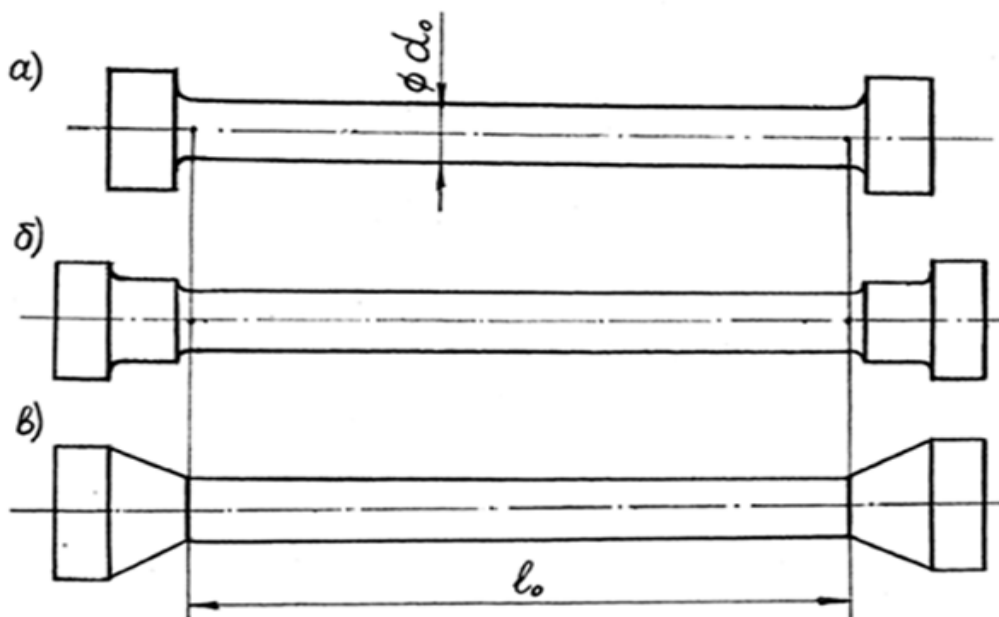


Рисунок 4.1 - Образцы для испытания

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 4.2. 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» – $l_0 = 5d_0 = 5,65\sqrt{A_0}$.

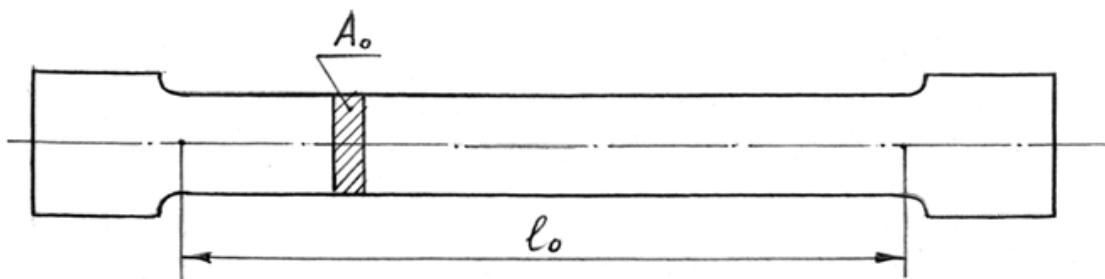


Рисунок 4.2. Плоский образец

5. ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ

Образец с помощью приспособлений устанавливается в захваты испытательной машины и нагружается растягивающей силой F до разрушения – рисунок 5.1.

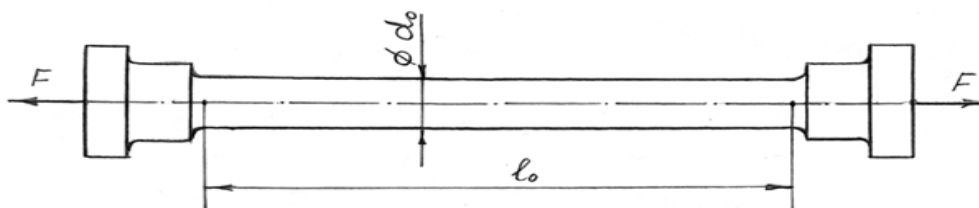


Рисунок 5.1 - Нагружение образца

Испытательная машина позволяет автоматически записывать на бумаге график зависимости абсолютного удлинения образца Δl от прикладываемой силы F . Этот график называется диаграммой растяжения.

Для малоуглеродистой стали диаграмма растяжения имеет вид, показанный на рисунок 5.2. 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.

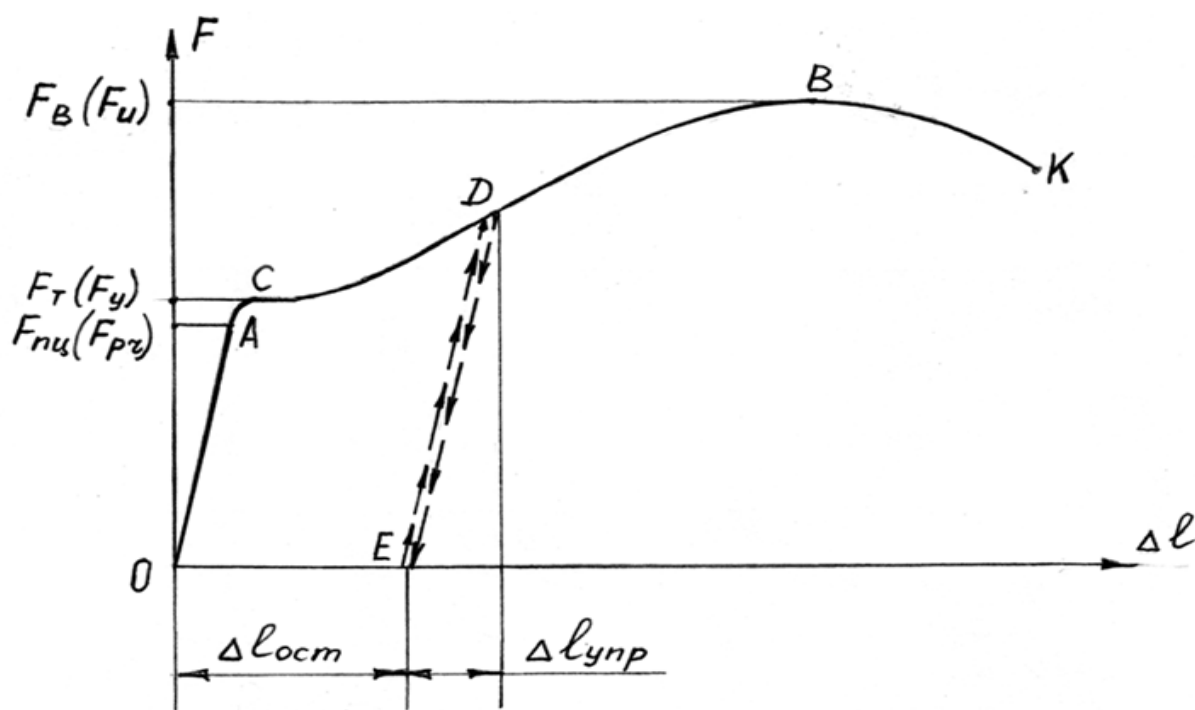


Рисунок 5.2 - Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

При нагружении образца силой большей $F_{0.2}$ (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 5.3 изображен образец перед разрушением.

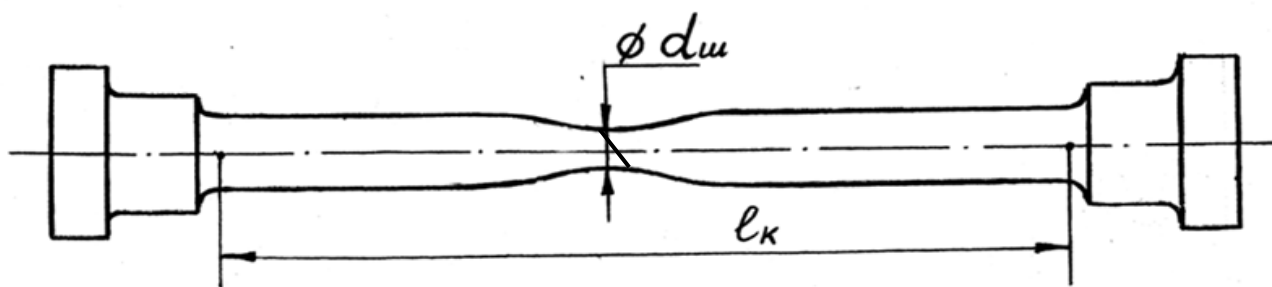


Рисунок 5.3 - Образец после разрушения

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 5.2).

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 5.2), а затем продолжится по кривой ДВК. Линия ДЕ || ОА. Такое поведение материала при повторных нагружениях называется законом «разгрузки-нагрузки».

6. 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 $\sigma - \epsilon$ – рисунок 6.1, 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.

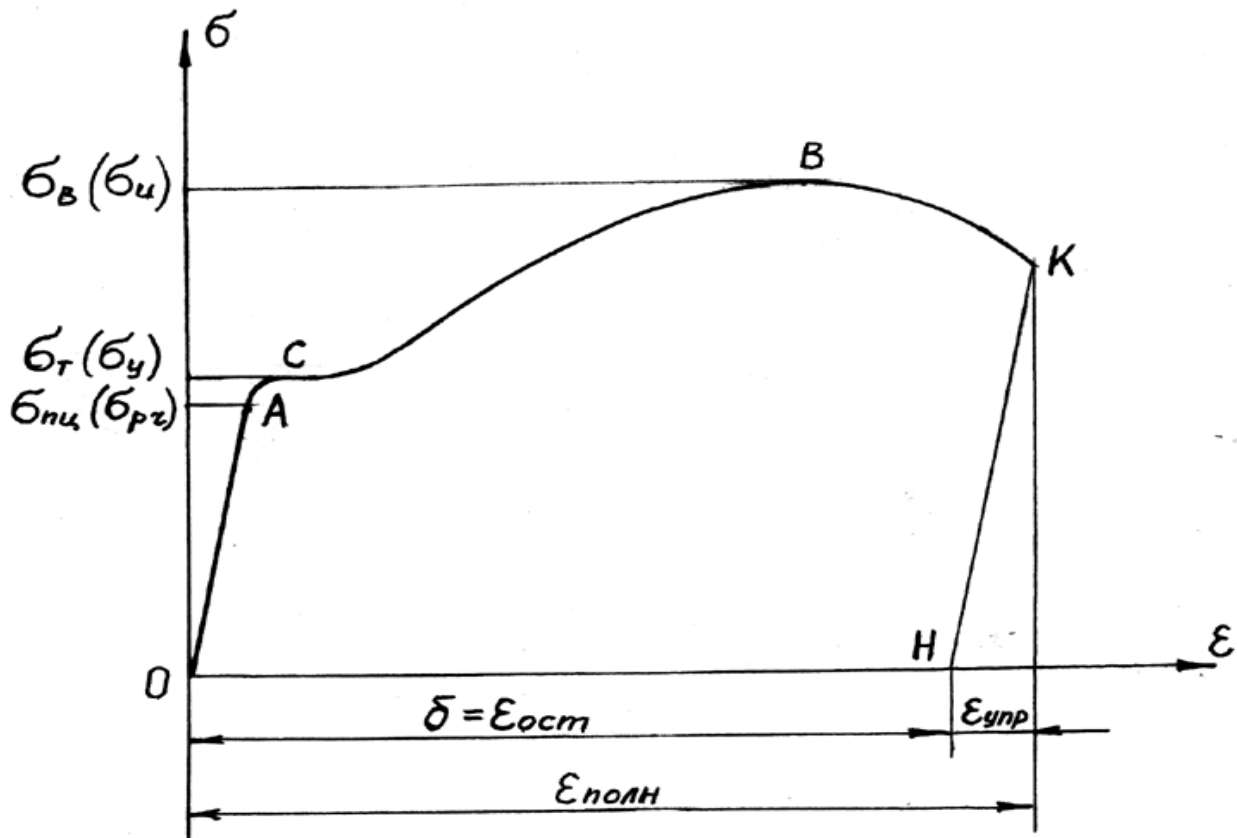


Рисунок 6.1 - Диаграмма условных напряжений

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.

$\sigma_{пл} = \frac{F_{пл}}{A_0}$ – 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.

$\sigma_{\text{пл}}$, 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

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

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

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

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 .

7. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЮ

Для проведения испытания на растяжения наиболее распространены два вида образцов:

- Цилиндрический (рисунок 7.1)

- Плоский (рисунок 7.2)



Рисунок 7.1 - Цилиндрический образец

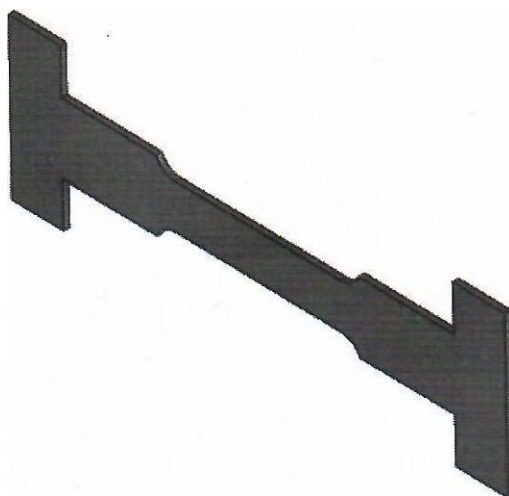


Рисунок 7.2 - Плоский образец

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 7.3:

- Гайка
- Шпилька
- Гайка с резьбой для образца



Рисунок 7.3 — Детали зажимного патрона

Вставим шпильку в среднюю траверсу и закрутим с двух сторон гайками, так чтобы гайка с резьбой для образца оказалась сверху (рисунок 7.4).

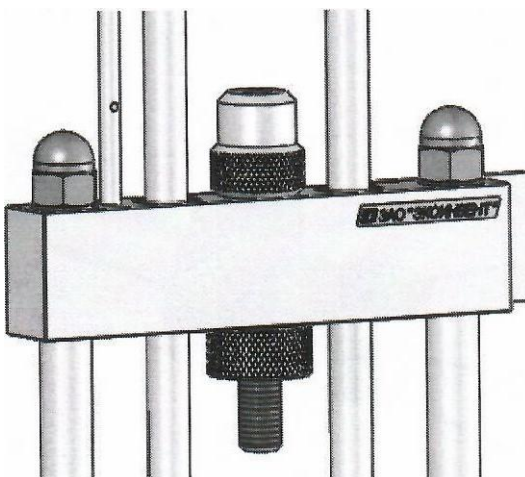


Рисунок 7.4 — Нижний патрон в сборе

Далее прикрутим образец к двум гайкам (рисунок 7.5). Образец нужно закручивать на всю длину резьбы и только до начала рабочего участка!

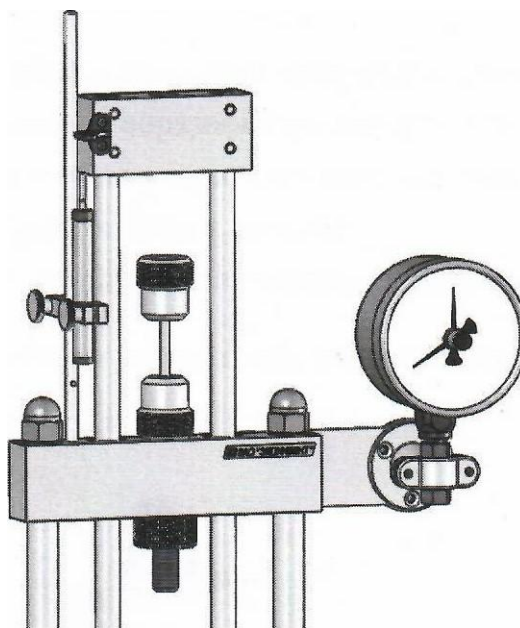


Рисунок 7.5 - Установленный образец

Завершим сборку собрав, аналогично нижнему патрону, верхний.

При испытании плоских образцов, необходимо использовать приспособления изображенные на рисунке 7.6.

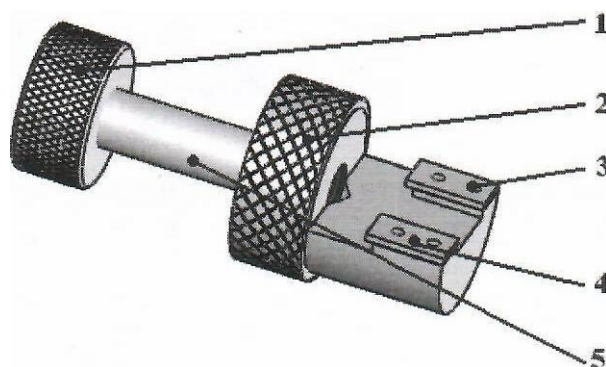


Рисунок 7.6 — Приспособление для плоских образцов.

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 7.7.

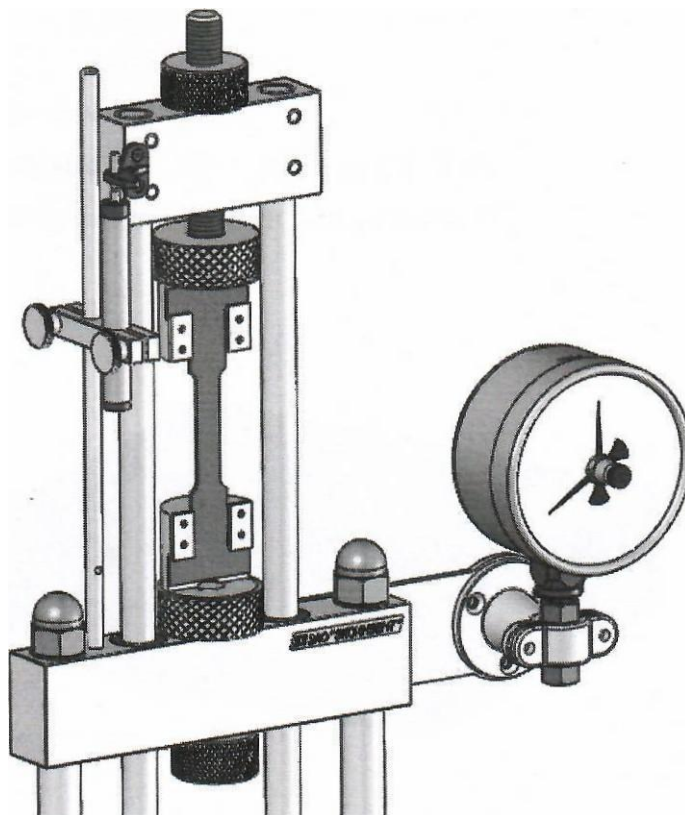


Рисунок 7.7 — Собранный стенд для испытания плоских образцов на растяжение

Установите указатель максимального давления (красная стрелка) в нулевую позицию (рисунок 7.8).



Рисунок 7.8— 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 7.9.

Подключите к нему следующие устройства:

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



Рисунок 7.9 — 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 7.10).

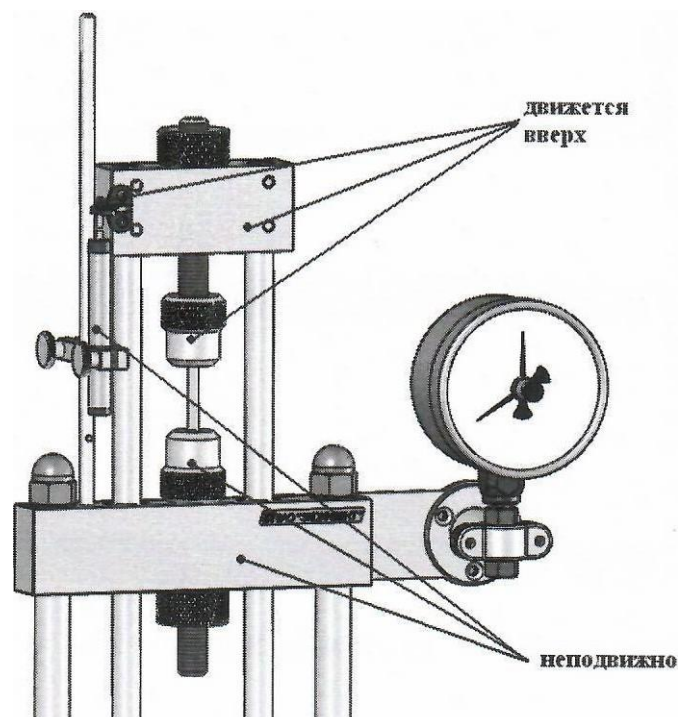


Рисунок 7.10— Направления перемещения частей стенда при растяжении

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 7.11). 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.

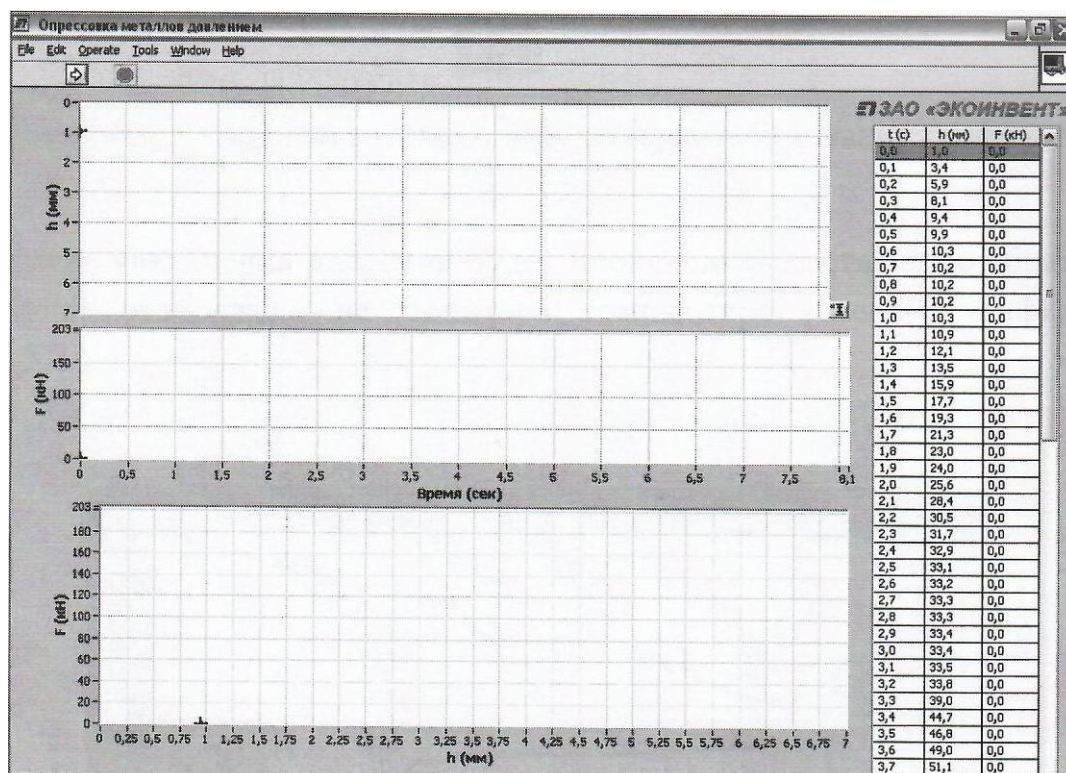


Рисунок 7.11 — Вид программы для работы со стендом

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.

8. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Основной задачей будет плавное повышение приложенной к образцу растягивающей силы. Для этого необходимо повышать давление в гидравлической системе. Повышение давления 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 на рисунке 8.1.

Рисунок 8.1 — Кнопка автоматического масштабирования графиков.

о мере увеличения давления будет происходить растяжение образца. Что и будет отображено на мониторе компьютера зеленым графиком (рисунок 8.2).

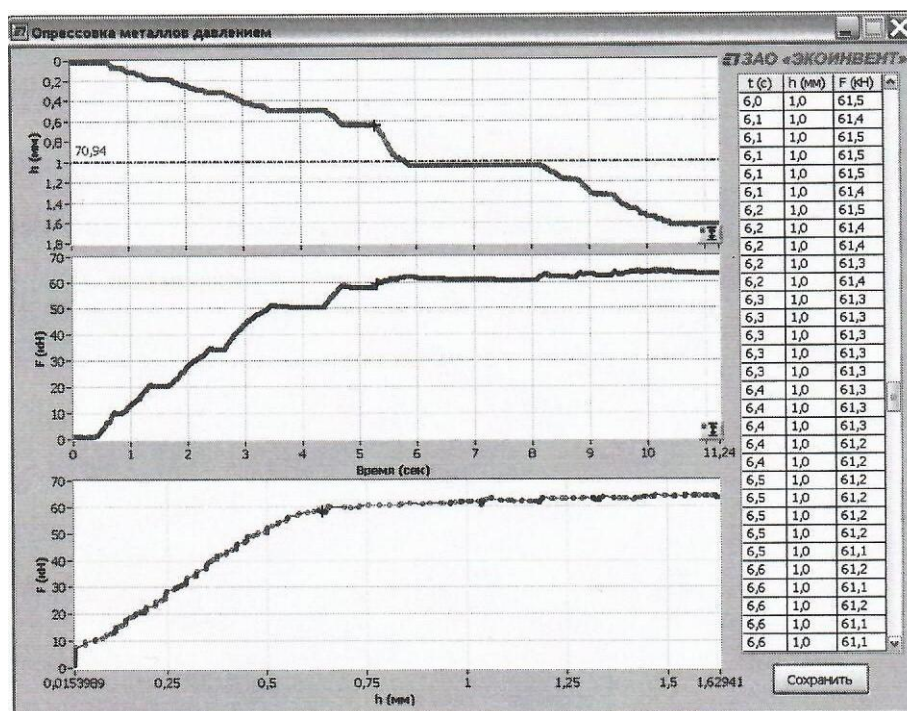


Рисунок 8.2 - Окно программы во время проведение испытания

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

Имея датчик давления, можно подсчитать приложенную силу воспользовавшись формулой:

$$F=P \times A \quad (5.1)$$

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

9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

9.1. Построение диаграммы растяжения по результатам испытания.

После испытания образца строим диаграмму растяжения рисунок 9.1.

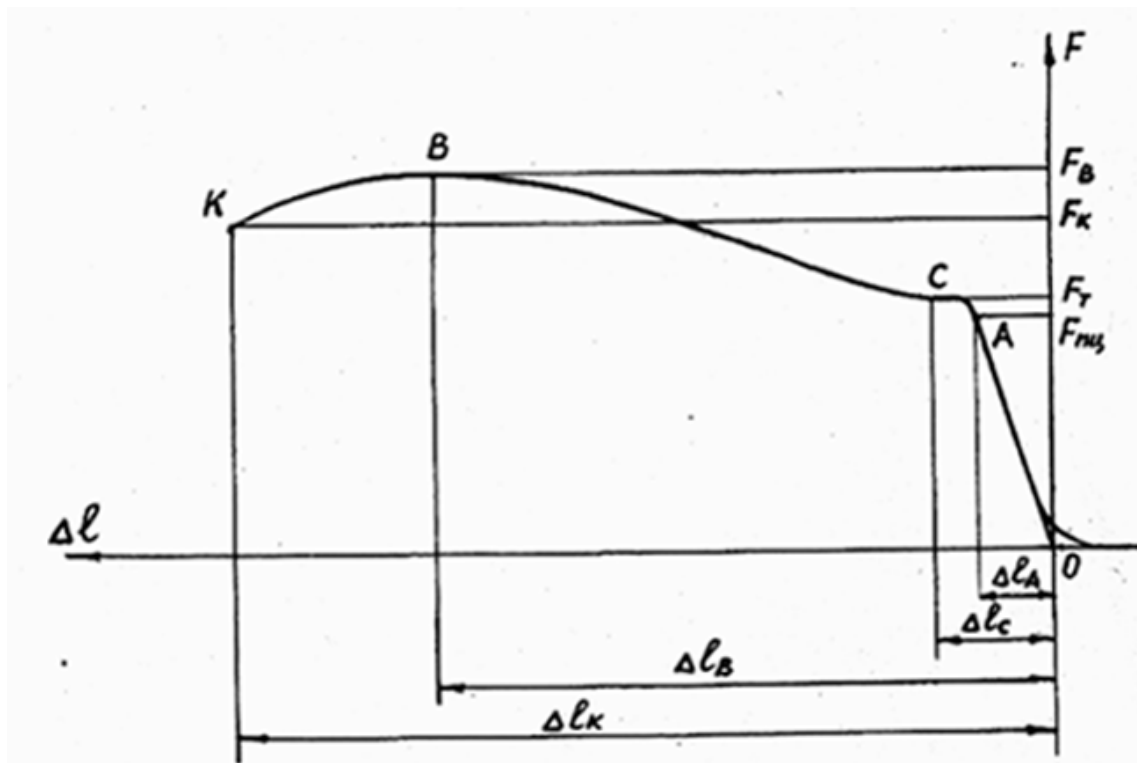


Рисунок 9.1. Обработка машинной диаграммы

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 9.1, и их координаты F_i и Δl_i .

С помощью линейки или миллиметровки измеряем длину отрезков, соответствующих координатам F_i и $\Delta l_i - l_{Fi}$ и $l_{\Delta li}$. Учитывая масштабы кривой на рисунок 9.1, вычисляем действительные значения нагрузок и соответствующих им абсолютных удлинений

$$F_{\text{пц}} = \mu_F \cdot l_{F\text{пц}} \quad \Delta l_A = \mu_{\Delta l} \cdot l_{\Delta l A}$$

$$F_T = \mu_F \cdot l_{FT} \quad \Delta l_C = \mu_{\Delta l} \cdot l_{\Delta l C}$$

$$F_B = \mu_F \cdot l_{FB} \quad \Delta l_B = \mu_{\Delta l} \cdot l_{\Delta l B}$$

$$F_K = \mu_F \cdot l_{FK} \quad \Delta l_K = \mu_{\Delta l} \cdot l_{\Delta l K},$$

где

μ_F , $\mu_{\Delta l}$ – масштабы полученной в результате испытания кривой – рис. 7, принятые при проектировании машины ИМ-12А.

$$\mu_F = 30 \text{ кГс/мм}$$

$$\mu_{\Delta l} = 0,03 \text{ мм/мм}$$

Выбираем новые масштабы так, чтобы диаграмма растяжения поместилась на тетрадном листе. По правилам построения графиков строим диаграмму растяжения в отчете (слева направо!, рисунок 9.1).

8.2. 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:

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

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

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

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.

8.3. 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 КН $\parallel$ ОА и измеряем отрезок ОН – $l_{ОН}$ (рисунок 9.1)

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

10. ФОРМА ОТЧЕТА

- 9.1. Название лабораторной работы.
- 9.2. Цель проведения лабораторной работы.
- 9.3. Задачи, решаемые при проведении лабораторной работы.
- 9.4. Используемые инструменты и испытательная машина.
- 9.5. Образец до испытания и после испытания в масштабе с указанием основных размеров – d_0 , l_0 , d_{III} и l_K .
- 9.6. Все вычисления для построения диаграммы растяжения и диаграммы условных напряжений.
- 9.7. Диаграмма растяжения и диаграмма условных напряжений в масштабе.
- 9.8. Характеристики прочности материала образца.
- 9.9. Характеристики пластичности материала.
- 9.10. Выводы по работе.

11. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

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?

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: ИПК изд-во стандартов. 36 с.
2. Сопротивление материалов. Учебник для вузов / Г.С.Писаренко и др.; под общей редакцией Г.С.Писаренко – Киев: «Вища школа», 1986. – 775с.