

Лабораторная работа «ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ»

Цель работы: Определение модуля упругости материалов.

Принадлежности: Установка для изучения упругих свойств материалов, образцы, линейка, микрометр, набор грузов.

Мерой взаимодействия тел является сила. Действие окружающих тел на рассматриваемое характеризуется внешними силами, которые могут распределяться по объему и по поверхности тела (силы всемирного тяготения, магнитное взаимодействие). Совокупность действующих на тело сил называется нагрузками.

Действие нагрузок может вызвать деформацию тел.

Деформация – это изменение взаимного расположения точек тела, которое приводит к изменению его формы и размеров.

Любые сложные деформации могут быть представлены совокупностью небольшого числа основных видов: растяжения, сжатия, кручения, сдвига, изгиба. Если после прекращения действия нагрузки деформация исчезает, то она называется упругой. Если тело не восстанавливает форму и объем после прекращения внешнего воздействия, то ее называют *пластической*.

При деформации расстояние между атомами (молекулами) изменяется. Это приводит к возникновению внутренних сил, стремящихся вернуть частицы в первоначальное положение. Внутренние силы, возникающие при действии нагрузок это силы упругости. Определяют внутренние силы методом сечений.

Мерой внутренних сил, возникающих при деформации материала является механическое напряжение. При деформации сжатия и растяжения напряжение можно выразить как отношение силы к площади поперечного сечения.

$$\sigma = \frac{F}{S}; \quad [\sigma] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$$

Величины, характеризующие деформацию:

$l_1 - l = \Delta l$ - абсолютное удлинение (деформация)

$\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon$ - относительное удлинение $\frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$

Закон упругой деформации: относительная деформация прямо пропорциональна приложеной силе и обратно пропорциональна площади сечения.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} \quad (1)$$

Получен экспериментально английским физиком Робертом Гуком.

Из (1) выразим $\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$, то есть для упругих деформаций $\sigma = E \cdot \varepsilon$, т.е. механическое напряжение пропорционально относительному удлинению.

E – модуль упругости или модуль Юнга

$\sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l}$, если $\Delta l = l$, $E = \sigma$, следовательно, модуль Юнга численно равен механическому напряжению, возникающему в образце при увеличении его длины вдвое (если бы закон Гука выполнялся до столь больших удлинений)

$$[E] = 1 \text{ Па}$$

Модуль Юнга различен для разных веществ:

Таблица 1

Материал	$E \cdot 10^7 \text{ Па}$
Стекло	4900-7800
Алюминий	6300-7000
Гетинакс	1000-1700
Текстолит	600-1000
Кожа	0,0013
Кость	1000
Плексиглас	320
Коллаген	100

Зависимость $\sigma = f(\epsilon)$ является характеристикой механических свойств твердого тела.

Пример: диаграмма растяжения

ОА – участок упругой деформации, выполняется закон Гука

ВС – участок текучести материала

$\sigma_{\text{упр}}$ – наибольшее механическое напряжение, при котором деформация сохраняет упругий характер – предел упругости;

σ_{T} – напряжение, при котором происходит текучесть материала – п... удлинения происходит без увеличения нагрузки – предел текучести.

$\sigma_{\text{пр}}$ – напряжение, при котором происходит разрушение образца – предел прочности

Целью механических испытаний твердых материалов является измерение деформаций образцов материалов при нагрузке и определение упруго- прочностных свойств материалов, среди которых – модуль упругости. Существуют различные методы его определения. В данной работе модуль упругости определяется по деформации изгиба.

Если на один конец упругого стержня, закрепленного в штативе с другой стороны действует сила F , то стержень изгибается. При этом верхние слои стержня растягиваются, нижние сжимаются, а средний слой, который называют нейтральным, сохранит длину и только претерпит искривление.

Перемещение λ , которое получил нагруженный конец стержня называется стрелой прогиба. Она тем больше, чем больше нагрузка и зависит от формы и размеров стержня, от модуля Юнга материала стержня.

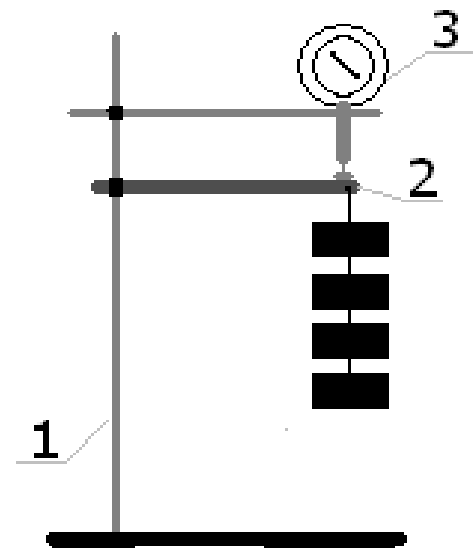
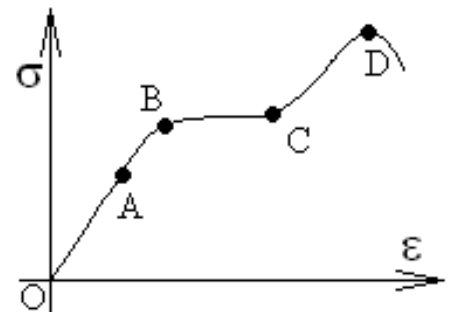
$$\lambda = \frac{4FL^3}{a^3bE} \quad (2)$$

F – приложенная сила

L – длина стержня

b – ширина стержня

a – толщина стержня



Описание установки.

- 1 Штатив
2. Образец
3. Индикатор прогиба

Порядок выполнения работы.

1. Измерьте микрометром ширину b и толщину a образца. Результаты в метрах занести в таблицу 3 в виде мантиссы и порядка числа (пример: $a = 5,36$ мм, в таблицу записываем $5,36 \cdot 10^{-3}$ м).
2. Ознакомьтесь с установкой. Запишите цену деления шкалы индикатора $c = \dots$ мм и переведите ее в метры

$$c = \dots \text{ мм} = \dots \text{ м}$$

Показания с индикатора снимаются следующим образом:

количество делений n * цену деления в метрах

$$n \times c(\text{м}),$$

при этом n записываем в тело таблицы, а порядок числа (10^{-5}) находится в «шапке» таблицы.

3. Закрепите образец в держатель штатива так, чтобы точка подвеса груза находилась точно под наконечником индикатора. Измерьте длину L образца (длина образца измеряется как расстояние между точкой закрепления и точкой подвешивания грузов). Результаты занести в таблицу 3.
4. Запишите показания индикатора n_0 в таблицу 2 выраженные в метрах в виде мантиссы и порядка числа (пример $0,77$ мм = $77 \cdot 10^{-5}$ м).
5. Подвесьте к образцу один груз и снимите показания индикатора n . Измерения с одним грузом произвести 3 раза, каждый раз снимая его, и измеряя n_0 перед каждым опытом. Результаты записать в таблицу 2 в метрах в виде мантиссы и порядка числа.
6. Аналогичные измерения проделайте с двумя, тремя, четырьмя грузами и заполните таблицу 2.

Таблица 2

№	n_0 , м	F, Н	n , м	λ , м	$\bar{\lambda}$, м
1.					
2.					
3.					
1.					
2.					
3.					
1.					
2.					
3.					
1.					
2.					
3.					

7. Вычислите стрелы прогиба λ , по формуле $\lambda = |n - n_0|$, соответствующие всем нагрузкам и среднее значение стрелы прогиба $\bar{\lambda}$ для каждой нагрузки.

8. Рассчитайте силу, под действием которой происходила деформация образца

$$F = m \cdot g,$$

где g - ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

$m = m_1 \times$ количество грузов ($m_1 = 50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$ – масса одного груза).

9. Постройте график зависимости средней стрелы прогиба от нагрузки $\bar{\lambda} = f(F)$ и получите уравнение линейной регрессии, связывающее эти величины, используя компьютер, программу Excel.

Для этого в столбец А введите четыре значения аргумента «х» - силы, а в столбец В – значения зависимой переменной «у» **только мантиссы** средней стрелы прогиба для каждой нагрузки. После выполнения всех команд, необходимых для построения графика, он выводится на экран.

Для получения линии регрессии и уравнения указатель мыши наведите на линию графика, и, вызвав контекстное меню (правая клавиша мыши), выберите команду «Добавить линию тренда». В появившемся запросе на вкладке «Тип» нужно выбрать построение линии тренда линейную, на вкладке «Параметры» установить флажок «Показывать уравнение на диаграмме».

Запишите в таблицу 3 появившееся уравнение линейной регрессии, а так же угловой коэффициент «к» из уравнения, умножив его на порядок числа средней стрелы прогиба. Полученный коэффициент k равен тангенсу наклона получившейся прямой, т.е.

$$k = \text{tg } \alpha = \frac{\lambda}{F}$$

10. Вычислите модуль упругости, подставляя линейные размеры образца и угловой коэффициент «к». Для этого из формулы (2) необходимо выразить

$$\frac{\lambda}{F} = \frac{4 L^3}{a^3 b} \cdot \frac{1}{E}, \text{ отсюда } E = \frac{4 L^3}{a^3 b \text{ tg } \alpha} = \frac{4 L^3}{a^3 b k}.$$

Подставьте размеры образца и угловой коэффициент «к» в последнее выражение и рассчитайте модуль Юнга. Запишите значения модуля упругости в таблицу 3.

11. Полученный результат сравните со справочными данными модуля Юнга (таблица 1) и сделайте вывод.

Таблица 3

Уравнение линейной регрессии	$y=$
Угловой коэффициент	$k=$
Длина стержня	$L=$
Ширина стержня	$b=$
толщина стержня	$a=$
Модуль Юнга	$E=$

Контрольные вопросы:

1. Что такое деформация, виды деформации.
2. Внешние и внутренние силы. Метод определения внутренних сил.
3. Природа сил упругости.
4. Законы упругой деформации.
5. Модуль упругости, его физический смысл.
6. Моделирование упругих, вязких и вязко-упругих свойств.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое абсолютное удлинение, в каких единицах измеряется?
2. Что такое относительное удлинение, в каких единицах измеряется?
3. Чему равен коэффициент жесткости, в каких единицах измеряется?
4. Что такое механическое напряжение, в каких единицах измеряется?
5. Начертить диаграмму растяжения и проанализировать ее.
6. Назвать модель упругого тела.
7. Назвать модель вязкого тела.
8. Назвать модель вязко-упругого тела.
9. Какие свойства тел изучаются на этих моделях?
10. Математическое описание моделей.