



Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ  
им. Н.Э. Баумана)

Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация»

Кафедра РК5 «Прикладная механика»

### РАБОТА № 3 ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ

Испытание на кручение образцов материалов проводится с целью экспериментального определения механических характеристик при чистом сдвиге: модуля сдвига  $G$ , предела текучести  $\tau_T$ , предела прочности  $\tau_B$ , 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 рис. 3.1.

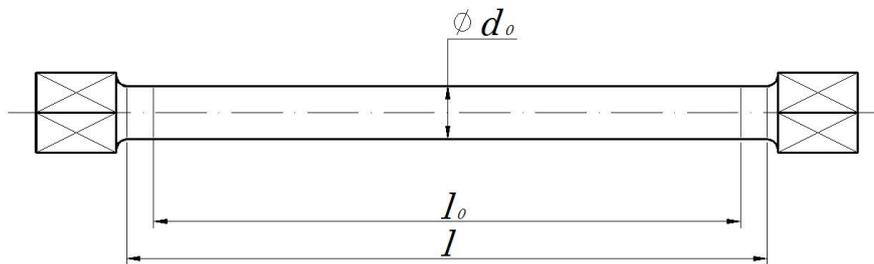


Рис 3.1 Эскиз образца.

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

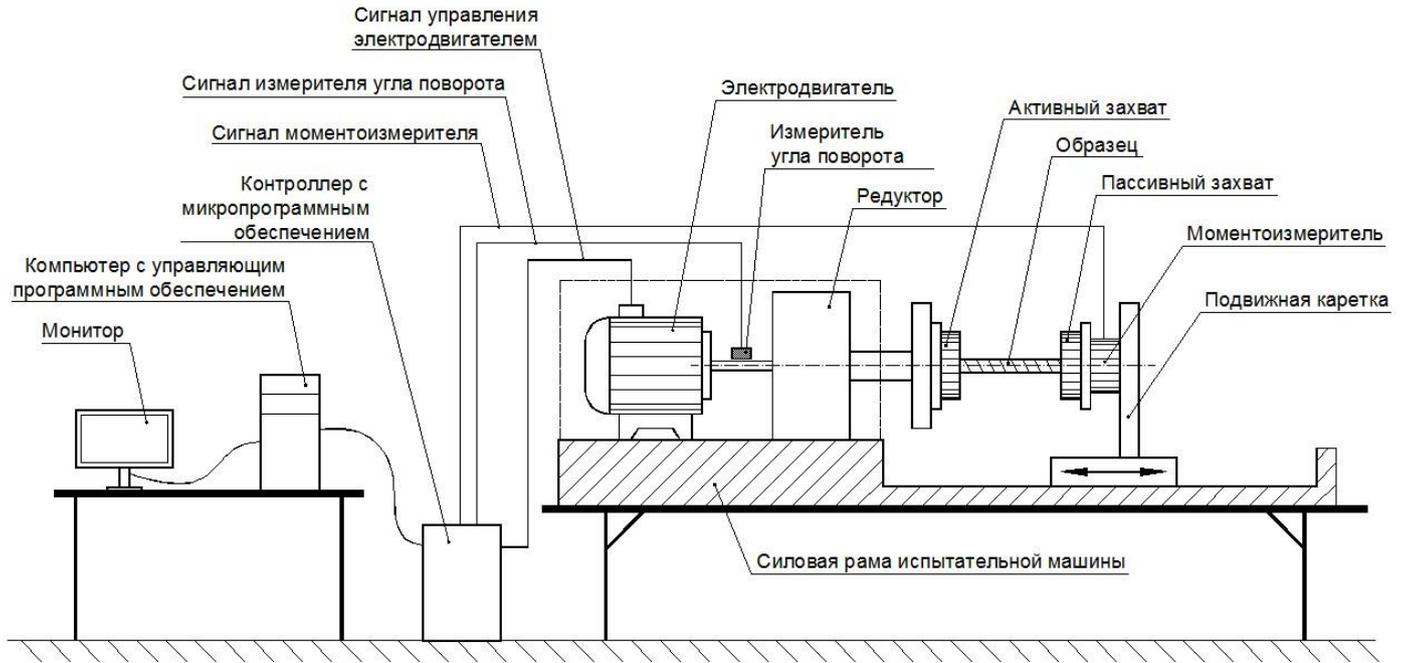


Рис. 3.2. Схема испытательной машины.

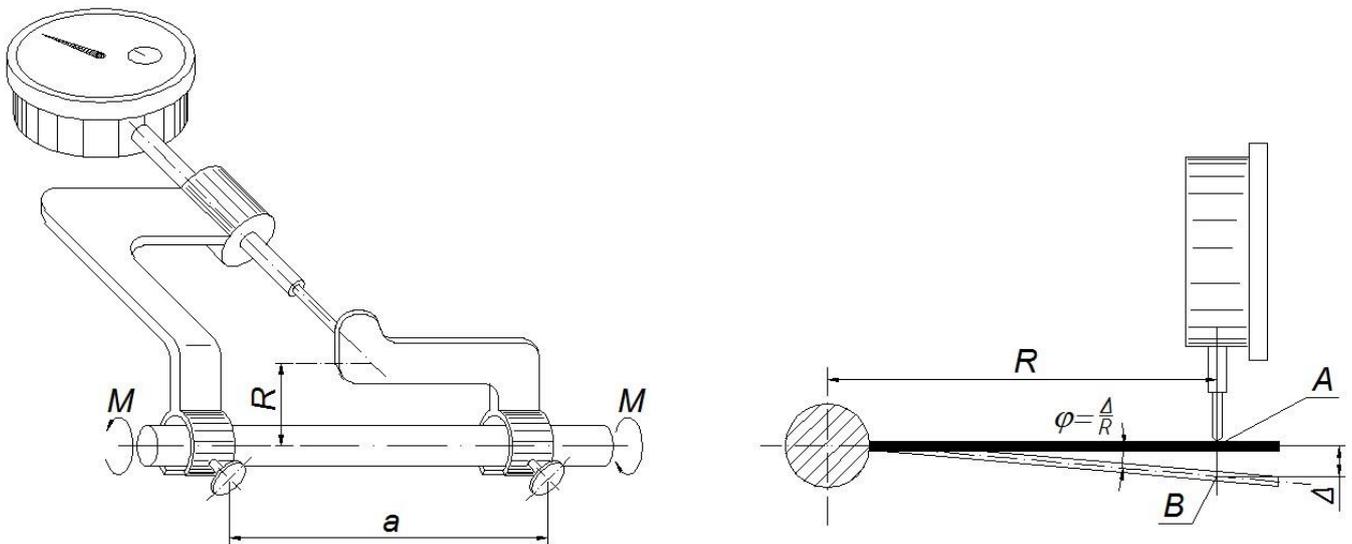


Рис. 3.3. Угломер Бояршинова и схема измерения угла закручивания.

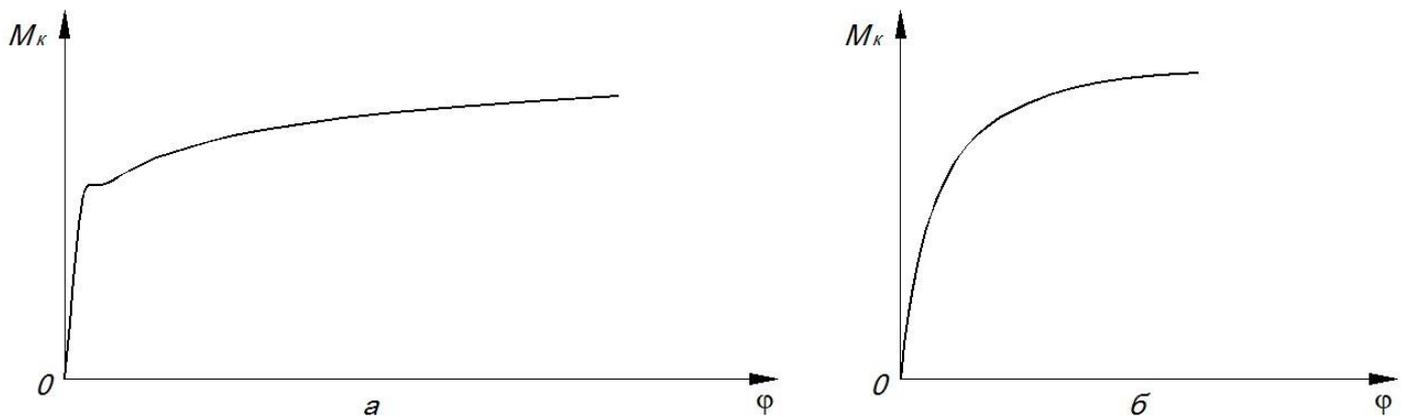


Рис. 3.4. Диаграммы кручения образцов:  
а – низкоуглеродистая сталь; б – серый чугун

Рассмотрим диаграмму кручения образца пластичного материала (рис. 3.4 а).

На начальном участке диаграммы между крутящим моментом  $M_K$  и углом закручивания  $\varphi$  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  $\varphi_y$ , соответствующего упругой деформации сдвига, подчиняющегося закону Гука, и угла закручивания  $\varphi_{п}$ , соответствующего пластической деформации сдвига, т.е.  $\varphi = \varphi_y + \varphi_{п}$ .

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  $\tau$ , возникающими в материале при чистом сдвиге, и соответствующими углами сдвига  $\gamma$ .

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  $\tau$  пропорционально углу сдвига  $\gamma$ . 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  $\nu$ ) 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  $\varphi$  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  $\varphi$ , 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  $\Delta$  точки рычага, отстоящей на расстоянии  $R$  от оси образца. Таким образом,  $tg \varphi = \frac{\Delta}{R}$ , или, ввиду малости угла  $\varphi$ ,  $\varphi = \frac{\Delta}{R}$  (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  $45^\circ$ , 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).