

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Омский государственный технический университет»

# **ТРИБОФИЗИКА**

Методические указания  
к лабораторным работам

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2016

Составители: *Ю. К. Машков, О. В. Малий, О. В. Чемисенко*

Методические указания разработаны для выполнения лабораторных работ по трибофизике на универсальной машине трения «УМТ-2168» и универсальной разрывной машине «Zwick/Roell».

Предназначены студентам бакалавриата, обучающимся по направлениям 150.100.62 «Материаловедение и технологии материалов» и 210.600.62 «Нанотехнология», а также по другим техническим специальностям.

*Печатается по решению редакционно-издательского совета*

*Омского государственного технического университета*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Лабораторная работа № 1.

Определение характеристик механических свойств полимерных композиционных материалов.....	4
---	---

### Лабораторная работа № 2.

Определение характеристик механических свойств металлических материалов .....	13
--	----

### Лабораторная работа № 3.

Определение характеристик триботехнических свойств полимерных композиционных материалов .....	16
--	----

### Лабораторная работа № 4.

Определение характеристик триботехнических свойств металлических материалов .....	23
--	----

Библиографический список .....	31
--------------------------------	----

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** ознакомиться с принципом действия и устройством разрывной машины, определить предел прочности, модуль упругости и относительное удлинение при растяжении образцов из полимерных композиционных материалов.

**Оборудование, образцы:** машина разрывная «Zwick/Roell» с автоматизированной системой управления и обработки результатов, образцы полимерных композиционных материалов (ПКМ) для испытания на растяжение.

### Краткая теория

Физико-механические свойства твердых тел, используемых в качестве элементов трибосистем (узлов трения приборов и машин), определяются их строением и структурой. Под строением твердых тел понимают расположение в пространстве и взаимодействие их частиц: атомов, ионов, молекул.

Под структурой понимают совокупность формы, размеров и характера взаимного расположения соответствующих фаз в металлах, сплавах, полимерных материалах. При этом *фазой* называют однородную составную часть системы, имеющую определенный химический состав, строение и свойства и отделенную от остальных составных частей системы поверхностью (границей) раздела.

Различают *макроструктуру* – строение материала металла, полимера, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении в 10–20 раз, и *микроструктуру* – строение материала, наблюдаемое с помощью микроскопа, при больших увеличениях в сотни и тысячи раз. При анализе структуры полимерных материалов применяется термин *надмолекулярная*

*структура*, поскольку свойства полимеров реализуются и оцениваются на уровне надмолекулярной структуры. Фактически макромолекулы являются миниатюрными физическими телами, способными не только к изменению формы и размеров, но и к фазовым переходам. Свойства полимеров существенно зависят от способа упаковки макромолекул в полимерном теле, который и определяет его надмолекулярную структуру.

Несмотря на большое многообразие, все надмолекулярные структуры можно отнести к одной из четырех групп: глобулярные, фибриллярные, крупнокристаллические, полосатые. Внешние энергетические воздействия оказывают более значительное и сложное влияние на полимеры, чем на металлы. Влияние дефектов поверхности на прочность полимеров также значительно сильнее, чем у металлов. Рассмотрим кратко *механизм объемной прочности* полимеров. Структура полимеров способствует весьма неравномерному распределению внутренних напряжений между отдельными макромолекулами. Основную нагрузку несут не более 20 % цепных макромолекул. В основе разрушения нагруженных молекул лежит термофлуктуационный механизм, согласно которому некоторые разрушенные связи восстанавливаются, но с ростом нагрузки число актов разрушения превышает число восстановлений (рекомбинаций). Поэтому в соответствии с термофлуктуационной концепцией долговечность нагруженного тела как фундаментальная характеристика механической прочности отражает усредненную скорость процесса разрушения, связанного с накоплением повреждений в твердом теле. Основная закономерность, связывающая напряжение, абсолютную температуру и долговечность металлических и полимерных твердых тел, описывается уравнением долговечности Н. С. Журкова

$$\tau = A \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right),$$

где  $A$  – постоянная, зависящая от вида материала;

$U_0$  – энергия активации процесса разрушения при отсутствии напряжения;

$\sigma$  – напряжение;  $\gamma$  – структурно-чувствительный коэффициент;

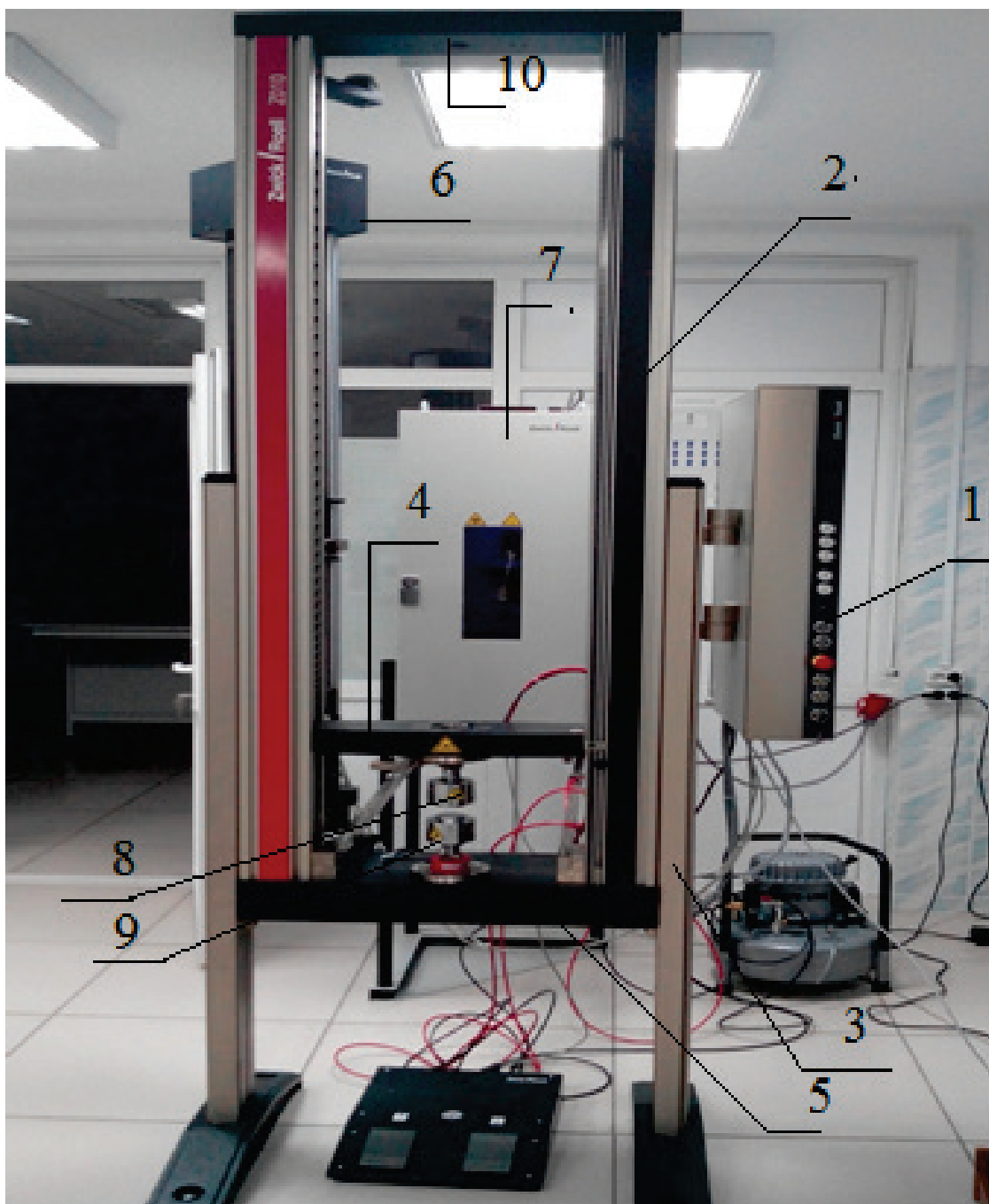
$k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

Уравнение Н. С. Журкова отражает температурно-временную зависимость прочности твердых тел при одноосном нагружении растяжением. В то же время в условиях трения поверхностные слои трущихся тел испытывают напряжения различного вида и значительные деформации, приводящие к возникновению и накоплению дефектов и к структурно-фазовым превращениям, которые сопровождаются изменением внутренней энергии, энтропии и других термодинамических параметров.

Следовательно, в объеме образцов при одноосном и других видах нагружения и деформации, при фрикционном взаимодействии в поверхностных слоях твердых тел происходят однотипные структурно-энергетические изменения, приводящие к постепенному накоплению микродефектов и разрушению (изнашиванию) поверхностей.

### **Методика эксперимента**

Используя разрывную машину, можно проводить испытания образцов материалов на растяжение. При увеличении усилия растяжения, направленного вдоль оси образца, образец деформируется, увеличиваясь в длине. Автоматизированная разрывная машина «Zwick/Roell», устройство которой показано на рис. 1.1, позволяет получать графические зависимости в координатах «усилие – деформация» при увеличении нагрузки до момента разрушения (разрыва) образца (рис. 1.2).



*Рис. 1.1. Универсальная разрывная машина «Zwick/Roell»:*

1 – пульт управления; 2 – станина; 3 – опора; 4 – средняя траверса (подвижная);  
5 – нижняя траверса (неподвижная); 6 – экстензометр; 7 – термокамера; 8 – верхний  
зажим (подвижный); 9 – нижний зажим (неподвижный); 10 – верхняя траверса  
(неподвижная)

Перед началом испытаний на разрывной машине необходимо пройти инструктаж по технике безопасности при работе на лабораторном оборудовании и изучить устройство машины и систему управления ею.

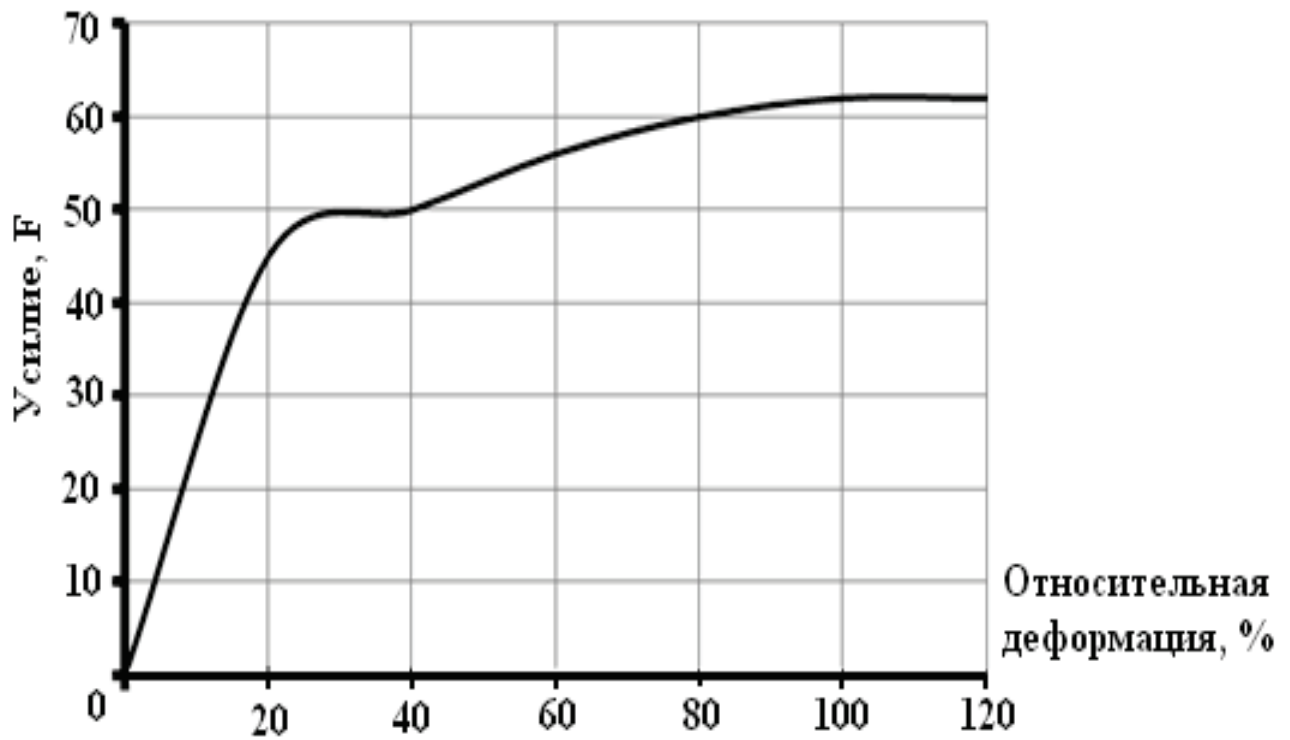


Рис. 1.2. График зависимости усилия от относительной деформации образца

Для определения предела прочности при растяжении образцы нагружают с постоянной скоростью растяжения вплоть до их разрушения. Предел прочности  $\sigma_B$  определяют по формуле

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{b \cdot h}, \quad (1.1)$$

где  $F_{max}$  – максимальное усилие, предшествующее разрушению образца, Н;  $b$  – ширина образца, мм;  $h$  – толщина образца, мм (рис. 1.3).

Относительное удлинение при растяжении определяют по формуле

$$\delta = \frac{\Delta L}{L}, \quad (1.2)$$

где  $L$  – начальная (расчетная) длина образца;  $\Delta L$  – абсолютное увеличение расчетной длины образца при растяжении.



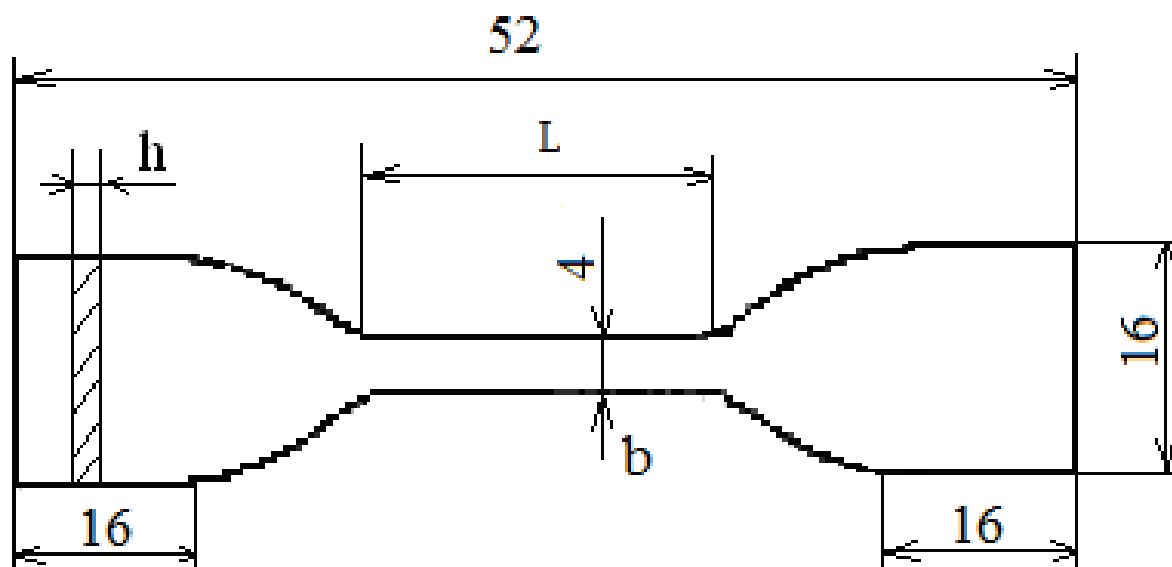


Рис. 1.3. Образец ПКМ для испытания на растяжение:

$b$  – ширина образца;  $L$  – начальная расчетная длина образца;

$h$  – толщина образца

Модуль упругости  $E$  определяется производной (градиентом) зависимости напряжения от деформации, то есть тангенсом угла наклона диаграммы напряжений-деформаций от величины усилия  $\Delta F$ , по формуле

$$E = \frac{\Delta F}{b \cdot h} \cdot \frac{1}{\Delta L}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta F$  – приращение нагрузки при увеличении расчетной длины образца на линейном участке графика;

$\Delta L$  – увеличение расчетной длины образца при изменении нагрузки на величину  $\Delta F$ .

Для записи диаграммы деформирования используется автоматическое устройство записи параметров «нагрузка – деформация» в комплекте машины «Zwick/Roell». Расчет названных параметров выполняется согласно ГОСТ 25.601–80.

## Порядок выполнения работы

1. Включить электропитание машины (тумблер на блоке управления).
2. Запустить компьютер и программу «test Xpert».
3. Произвести соединение компьютерной программы с блоком управления машины, нажав «да» в диалоговом окне.
4. После загорания зеленого индикатора на пульте управления перейти в «файл» и открыть программу.
5. Из списка программ и режимов испытаний выбрать «Универсальная программа испытаний», «Растяжение», «Термопластичные и термореактивные пластмассы» и нажать «ок». На мониторе компьютера появится «Макет серии».
6. В диалоговом окне «Машина» провести предварительные настройки датчиков силы, а также установить контрольные значения верхнего и нижнего перемещения траверсы. По завершении настроек нажать «ок» и вернуться к диалоговому окну «Макет серии».
7. В диалоговом окне «Макет серии» выбрать параметры испытания, для чего необходимо перейти в диалоговое окно «Ассистент».
8. В диалоговом окне «Ассистент» просмотреть все окна и произвести настройку машины. Перейти в окно «До испытания».
9. В диалоговом окне «До испытания» произвести настройку, указав:
  - а) форму образца (лопатка, круглый, квадрат и т. д.),
  - б) зажимную длину при стартовой позиции ( $50 \pm 2$  мм),
  - в) скорость приведения в стартовую позицию (200 мм/мин),
  - г) скорость деформации образца (5 мм/мин),
  - д) преднагрузку (0,1 Н)
10. Задать «Параметры испытания»:
  - а) скорость растяжения (1 мм/мин),
  - б) скорость испытания при растяжении (50 мм/мин),
  - в) порог спада усилия ( $80 \% F_{max}$ ).

**11.** Выбрать показатели, определяемые при испытании ( $E$  – модуль упругости при растяжении,  $\sigma_b$  – напряжение при разрушении,  $\delta$  – деформация в момент разрушения).

**12.** Выбрать вид модуля растяжения (касательная, регрессия, секущая).

**13.** Настроить регулятор температуры:

- а) установить температуру испытания,
- б) установить скорость нагрева,
- в) установить допустимые отклонения, а также время выдержки образцов при заданной температуре.

**14.** По окончании выполнения всех настроек вернуться к окну «Макет серии».

**15.** Произвести измерение образца с помощью калибромера или штангенциркуля с точностью до десятых долей миллиметра и внести показания в диалоговом окне «Макет серии», введя данные об образце:

- а) обозначение образца,
- б) тип образца,
- в) толщина образца,
- г) ширина образца,
- д) длина образца (если необходимо).

**16.** Установить образец в зажимы разрывной машины так, чтобы их продольные оси совпали с прямой, соединяющей точки крепления захватов в испытательной машине.

**17.** Перевести ключ на блоке управления машины из положения «Setup» в положение «Test».

**18.** Обнулить датчики усилия, для этого курсором мыши кликнуть по диалоговому окну «Усилие 0».

**19.** Нажать кнопку «Пуск», визуальнo отслеживать работу машины до полного окончания испытания. По окончании испытания машина в авто-

матическом режиме строит график зависимости «усилие – деформация», производит все необходимые расчеты показателей механических свойств и возвращается в стартовую позицию.

**20.** Освободить зажимы, извлечь испытанный образец и произвести установку нового образца. Повторить операции, начиная с пункта 19.

**21.** По окончании испытания всех образцов произвести отключение программного обеспечения, затем обесточить разрывную машину, распечатать протокол испытания.

**22.** Произвести расчет исследуемых характеристик механических свойств: предела прочности  $\sigma_B$ , модуля упругости  $E$  и относительного удлинения  $\delta$  – по формулам (1.1–1.3), используя полученный график зависимости усилия от относительной деформации. При расчете модуля упругости величину  $\Delta L$  в единицах длины определять по формуле (1.2).

Оформить отчет по выполненной лабораторной работе, сделав выводы о взаимосвязи параметров механических свойств исследуемых композиционных материалов, особенностях зависимости усилия нагружения при растяжении образцов и стабильности характеристик определяемых свойств.

### **Контрольные вопросы**

1. Уравнение Н. С. Журкова как температурно-временная зависимость прочности твердых тел при различных видах нагружения и деформации.
2. Общая характеристика объекта исследования – полимерного композиционного материала.
3. Методика определения предела прочности.
4. Методика определения модуля упругости.
5. Методика определения относительного удлинения при растяжении.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** определить предел прочности, модуль упругости и относительное удлинение при растяжении образцов из металлических материалов: стали, цветных сплавов или композиционных материалов на металлической основе.

**Оборудование, образцы:** машина разрывная «Zwick/Roell» с автоматизированной системой управления и обработки результатов, образцы металлических материалов для испытания на растяжение.

### Краткая теория

Механизм разрушения твердых тел независимо от их происхождения и старения имеет общую природу и описывается термофлуктуационной теорией объемной прочности. Согласно этой теории некоторые разрушенные связи восстанавливаются, но с ростом нагрузки число актов разрушения превышает число восстановлений (рекомбинаций). Поэтому в соответствии с термофлуктуационной концепцией долговечность нагруженного тела как фундаментальная характеристика механической прочности отражает усредненную скорость процесса разрушения, связанного с накоплением повреждений в твердом теле. Основная закономерность, связывающая напряжение, абсолютную температуру и долговечность металлических и полимерных твердых тел, описывается уравнением долговечности Н. С. Журкова.

$$\tau = A \exp \left( \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT} \right),$$

где  $A$  – постоянная, зависящая от вида материала;

$U_0$  – энергия активации процесса разрушения при отсутствии напряжения;

$\sigma$  – напряжение;  $\gamma$  – структурно-чувствительный коэффициент;

$k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

Уравнение Н. С. Журкова отражает температурно-временную зависимость прочности твердых тел при одноосном нагружении растяжением. В то же время в условиях трения поверхностные слои трущихся тел испытывают напряжения различного вида и значительные деформации, приводящие к возникновению и накоплению дефектов и к структурно-фазовым превращениям, которые сопровождаются изменением внутренней энергии, энтропии и других термодинамических параметров.

Следовательно, в объеме образцов при одноосном и других видах нагружения и деформации, при фрикционном взаимодействии в поверхностных слоях твердых тел происходят однотипные структурно-энергетические изменения, приводящие к постепенному накоплению микродефектов и разрушению (изнашиванию) поверхностей.

### Методика эксперимента

Использовать методику эксперимента на разрывной машине, изложенную в лабораторной работе № 1. Образцы для испытания должны соответствовать рис. 2.1.

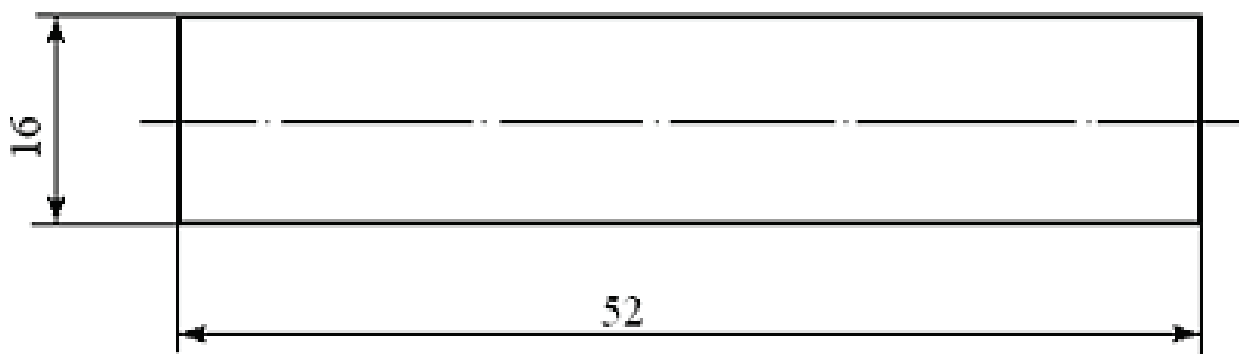


Рис. 2.1. Образец для испытания на растяжение

## **Порядок выполнения работы**

Порядок выполнения работы – в соответствии с порядком выполнения лабораторной работы № 1.

По окончании работы проанализировать полученные результаты и произвести расчет характеристик механических свойств исследуемых металлических материалов. Сделать выводы о взаимосвязи параметров характеристик механических свойств исследованных материалов и произвести сравнительный анализ по величине полученных параметров металлических материалов в сравнении с соответствующими параметрами полимерных материалов, исследуемых в лабораторной работе № 1. Оформить отчет по лабораторной работе.

## **Контрольные вопросы**

1. Общая характеристика материала металлических образцов как объекта исследования.
2. Уравнение Н. С. Журкова и термофлуктуационная теория прочности.
3. Общая характеристика универсальной разрывной машины «Zwick/Roell» с автоматизированной системой управления.
4. Методика определения предела прочности и относительного удлинения материалов.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** ознакомиться с принципом действия и устройством машины трения, экспериментально определить скорость изнашивания и коэффициент трения полимерного композиционного материала (ПКМ).

**Оборудование, образцы:** универсальная машина трения «УМТ-2168», микроаналитические весы ВЛР-200Г, бензин-растворитель БР-1, этиловый спирт (ГОСТ 18300–72), салфетки хлопчатобумажные, образцы композиционного материала на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) или на другой полимерной основе.

### Краткая теория

Большинство современных технических систем, включающих приборы, машины, технологическое оборудование, имеют в своем составе подвижные сопряжения деталей, образующие узлы трения (трибосистемы) различного типа. Контактное взаимодействие деталей при их относительном передвижении при работе машин сопровождается развитием сложных физико-химических процессов, приводящих к изменению структуры и свойств поверхностного слоя материалов сопряженных деталей. Современная наука о внешнем трении – пограничная область знаний, имеющих фундаментальное и прикладное значение. Ее содержание является синтезом соответствующих разделов физики, химии, материаловедения. В 80-х годах XX в. утвердилось новое название науки о трении, изнашивании и смазке деталей машин – трибология. Следовательно, трибология как наука о трении и процессах, сопровождающих трение, охватывает экспериментально-теоретическое исследование физических, химических, биологических и других процессов и явлений, связанных с трением. Названные процессы определяют содержание такой учебной дисциплины, как трибофизика.



При полном анализе трибологических процессов в числе выходных параметров трибосистем одним из основных является такой важный параметр, как коэффициент трения. Он отражает результаты комплекса физико-химических процессов, сопровождающих трение двух тел, поэтому его нельзя относить к одному материалу или к одной детали рассматриваемой трибосистемы. Аналогично нельзя относить к одной детали важнейшую характеристику – износостойкость, определяемую параметрами: скоростью изнашивания, интенсивностью изнашивания, поскольку они зависят от всех элементов трибосистемы.

Согласно современным положениям трибологии коэффициент трения и интенсивность изнашивания являются нелинейными функциями физико-механических свойств материалов пары трения, условий работы и режимов трения (смазка, свойства и температура окружающей среды, контактное давление, скорость относительного движения).

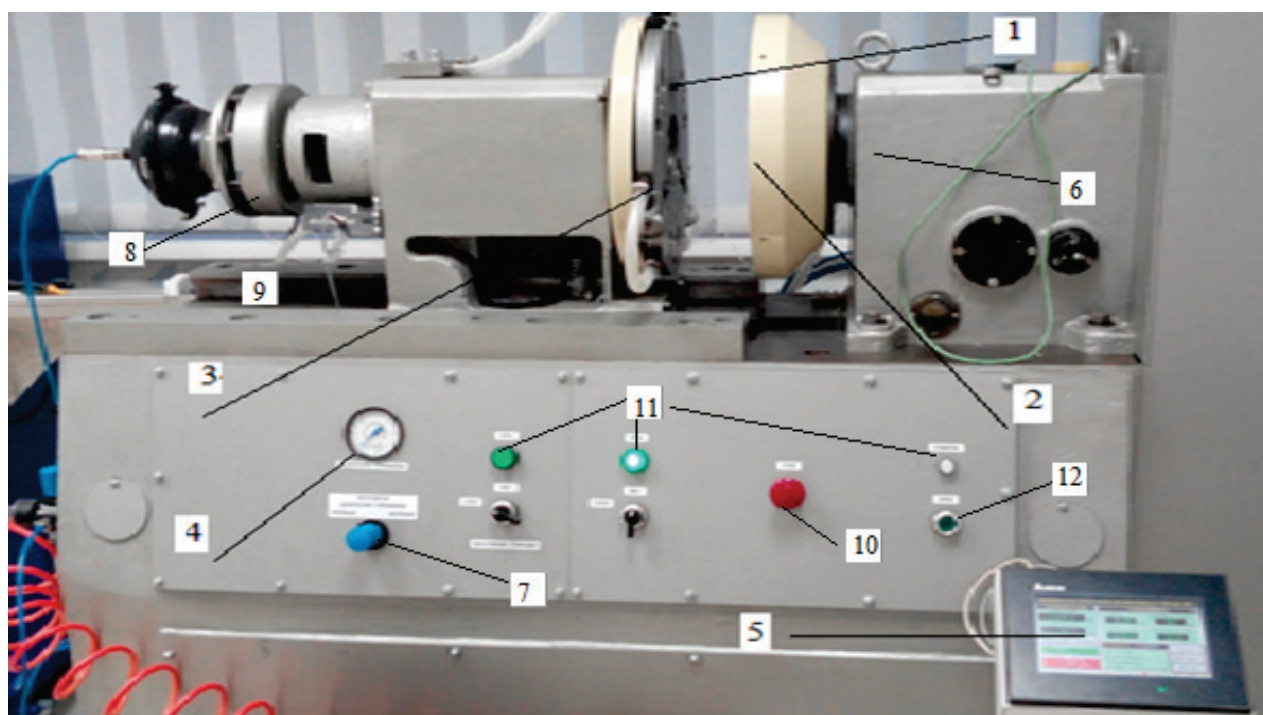
Перед началом проведения испытаний на универсальной машине трения необходимо пройти инструктаж по технике безопасности при работе на лабораторном оборудовании и изучить устройство машины и систему управления ею.

### **Методика эксперимента**

Определение характеристик триботехнических свойств композиционных материалов (скорости изнашивания и коэффициента трения) проводится на универсальной машине трения марки «УМТ-2168», основные узлы и механизмы управления которой показаны на рис. 3.1.

Схема трения и рабочий узел машины трения показаны на рис. 3.2 и 3.5 соответственно. Образцы для испытания (рис. 3.4) устанавливают в держатели образцов (рис. 3.3) и монтируют в зажимное устройство 5 в силоизмерителе 6 (рис. 3.5). Одновременно устанавливаются три цилин-

дрических образца диаметром  $d = 5$  мм из исследуемого ПКМ. Испытания проводятся по схеме торцового трения «палец (исследуемый материал) – диск» по металлическому контртелу из закаленной стали 45 с твердостью 48–52HRC. Тщательно обработанная (шлифование и полирование) рабочая поверхность контртела имеет параметр шероховатости  $Ra < 0,32$  мкм. Методика испытания предусматривает промывку рабочей поверхности контртела перед началом испытания бензином-растворителем БР-1 и этиловым спиртом (ГОСТ 18300–72), протирку насухо салфеткой и выдержку на воздухе не менее 30 минут.



*Рис. 3.1. Универсальная машина трения марки «УМТ-2168»:*

1 – держатель образцов; 2 – кожух привода и контртела; 3 – механизм силоизмерителя; 4 – манометр контактного давления; 5 – блок электронно-программного комплекса; 6 – привод; 7 – регулятор давления; 8 – механизм для создания контактной нагрузки; 9 – датчик нагрузки; 10 – кнопка аварийного останова; 11 – индикаторы режимов работы; 12 – кнопка «Пуск»

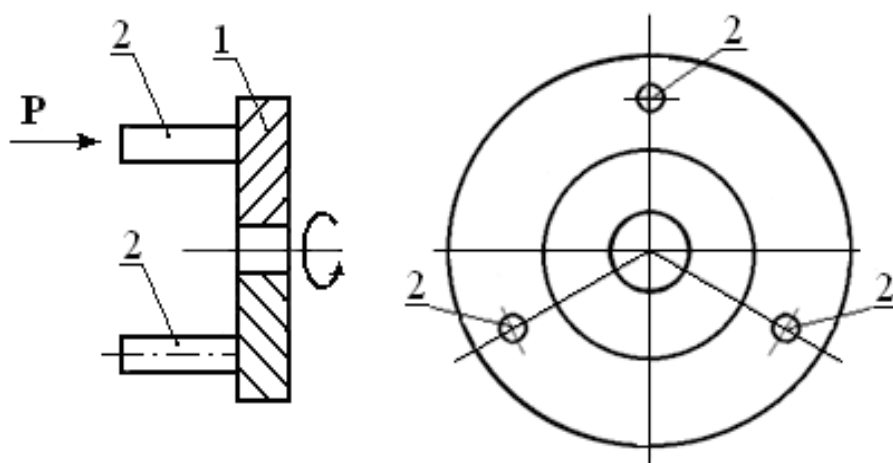


Рис. 3.2. Схема трения и расположения образцов:  
1 – контртело; 2 – образец

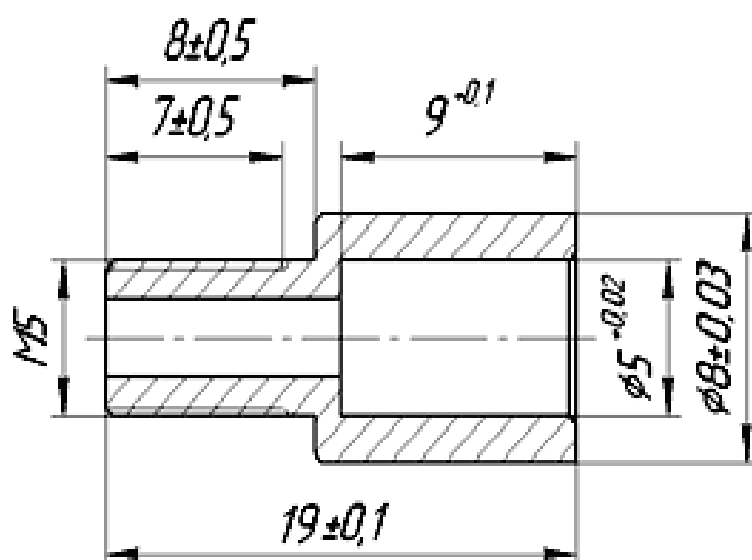


Рис. 3.3. Держатель образцов

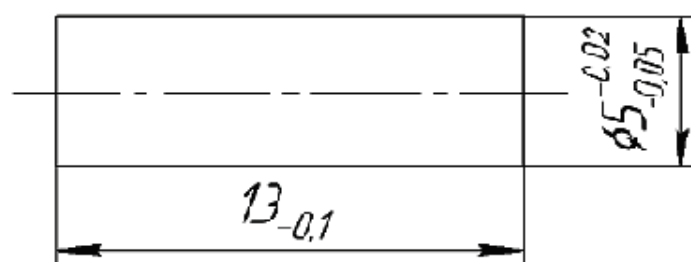


Рис. 3.4. Образец

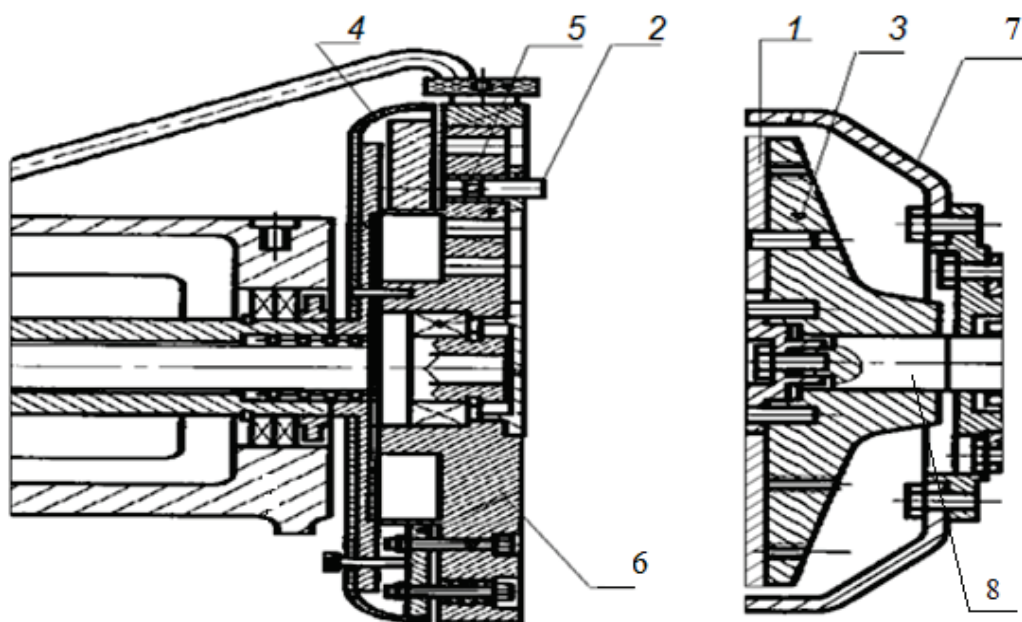


Рис. 3.5. Рабочий узел машины трения:

1 – контртело; 2 – образец; 3 – диск крепления контртела; 4 – кожух силоизмерителя; 5 – зажимное устройство для держателей образцов; 6 – силоизмеритель; 7 – защитный кожух привода; 8 – привод вал

Полимерные образцы перед началом испытания, после приработки и каждого этапа испытаний протираются салфеткой, смоченной в этиловом спирте. Окончание приработки оценивается по фактической площади контакта, которая должна составлять не менее  $\frac{2}{3}$  номинальной площади контакта образца. Перед началом испытания образцы взвешивают на микроаналитических весах типа ВЛР-200Г с погрешностью не более 0,015 мг. После приработки и взвешивания образцы устанавливают в держатели образцов и в блок электронно-программного комплекса вводят параметры испытания:

- частоту вращения контртела, об/мин;
- силу контактного взаимодействия, рассчитанную для трех образцов, кН;
- схему трения (палец-диск, кольцо-кольцо, колодка-втулка).

Регулятором давления 7 (рис. 3.1) на пульте управления производят настройку необходимого усилия взаимодействия образцов с контртелом.

Контроль заданных параметров осуществляют с помощью электронно-программного комплекса (индикаторы режимов работы 11 на рис. 3.1). По окончании предварительных настроек машины трения приступают к проведению испытания, нажав кнопку «Пуск» на панели управления. Для каждого комплекта образцов испытания проводятся в течение 2 часов при заданных значениях скорости скольжения и контактного давления. В процессе испытания через каждые 20 минут контролируются момент силы трения (по показаниям блока электронно-программного комплекса) и температура в зоне трения с помощью ручной термопары.

По окончании испытания производят демонтаж образцов из зажимов машины трения, протирают салфеткой, смоченной в этиловом спирте, и проводят взвешивание каждого образца.

### Обработка экспериментальных данных

По результатам всех измерений для каждого образца определить среднее значение момента трения и вычислить массовую скорость изнашивания по формуле

$$J = \frac{m_1 - m_2}{\tau},$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца до и после испытания соответственно, г;  $\tau$  – продолжительность испытания, ч;  $J$  – массовая скорость изнашивания, г/ч.

По результатам испытания трех образцов ПКМ определить среднее значение скорости изнашивания.

Коэффициент трения рассчитать по формуле

$$f = \frac{M_{\text{тр}}}{N \cdot R},$$

где  $M_{\text{тр}}$  – момент трения, по показанию регистрирующего прибора, Н·м;  $R$  – радиус трения по средней линии дорожки трения на контртеле;

$N$  – осевая нагрузка (сила нормального давления) на три образца,  $N$  определяется по формуле

$$N = P \cdot 3S,$$

где  $P$  – контактное давление, МПа;  $3S$  – площадь контакта трех образцов, м<sup>2</sup>.

Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы (табл. 3.1).

Таблица 3.1

№ обр.	Частота вращения $\eta$ , об/мин	Скорость скольжения $V$ , м/с	Масса образца, г			Темп. $T$ , °С	$J$ , г/ч	$f$
			$m_1$	$m_2$	$\Delta m$			
1								
2								
3								
Среднее значение								

Оформить отчет о выполненной работе, в котором сформулировать выводы по результатам исследования характеристик триботехнических свойств образцов ПКМ, отражающие характер изменения измеряемых параметров в процессе и отклонения их от среднего значения.

### Контрольные вопросы

1. Основные физико-химические процессы при фрикционном взаимодействии (трение и изнашивание твердых тел).
2. Технические характеристики универсальной машины трения «УМТ-2168».
3. Характеристики триботехнических свойств полимерных композиционных материалов пар трения.
4. Основные виды трения.
5. Методика определения скорости изнашивания и коэффициента трения.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** ознакомиться с принципом действия и устройством машины трения, освоить методику экспериментального определения скорости изнашивания металлических материалов на примере конструкционных сталей и сплавов.

**Оборудование, образцы:** универсальная машина трения «УМТ-2168», микроаналитические весы ВЛР-200Г, микрометр, штангенциркуль, бензин-растворитель БР-1, этиловый спирт (ГОСТ 18300–72), салфетки хлопчатобумажные, образцы конструкционной стали и сплавов.

### Краткая теория

Контактное взаимодействие деталей при их относительном передвижении при работе машин сопровождается развитием сложных физико-химических процессов, приводящих к изменению структуры и изнашиванию поверхностного слоя материалов сопряженных деталей. Современная наука о внешнем трении – трибология – пограничная область знаний, имеющих фундаментальное и прикладное значение. Ее содержание является синтезом соответствующих разделов физики, химии, материаловедения. Трибология как наука о трении и процессах, сопровождающих трение, охватывает экспериментально-теоретическое исследование физических, химических, биологических и других явлений, связанных с трением.

При полном анализе трибологических процессов в числе выходных параметров трибосистем одним из основных является такой важный параметр, как коэффициент трения. Он отражает результаты комплекса физико-химических процессов, сопровождающих трение двух тел, поэтому его нельзя относить к одному материалу или к одной детали рассматриваемой трибосистемы. Аналогично нельзя относить к одной детали характери-

ку материалов триботехнического назначения – износостойкость, определяемую параметрами: скоростью изнашивания, интенсивностью изнашивания, поскольку они зависят от всех элементов трибосистемы.

Согласно современным положениям трибологии коэффициент трения и интенсивность изнашивания являются нелинейными функциями физико-механических свойств материалов пары трения, условий работы и режимов трения (смазка, свойства и температура окружающей среды, контактное давление, скорость относительного движения). Временная зависимость (рис. 4.1) температуры в зоне трения качественно отражает уровень и зависимость работы трения от условий трения и материалов пары трения.

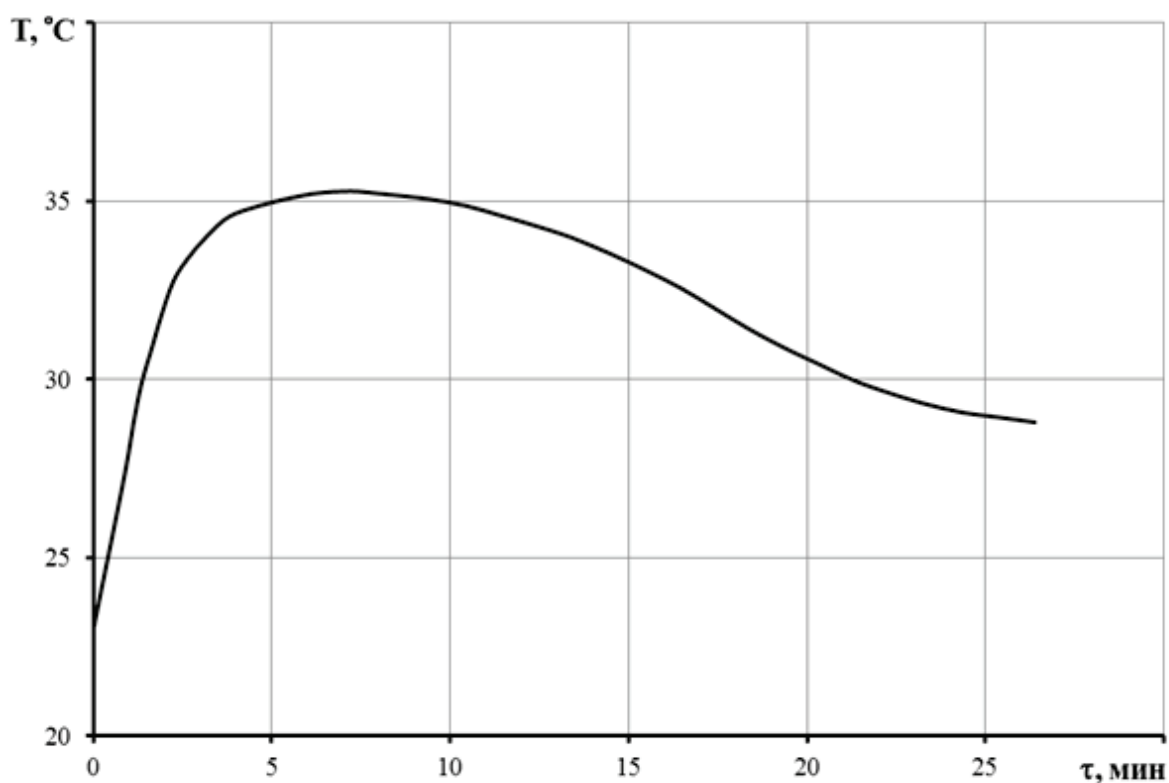


Рис. 4.1. График зависимости температуры в зоне трения от продолжительности испытания

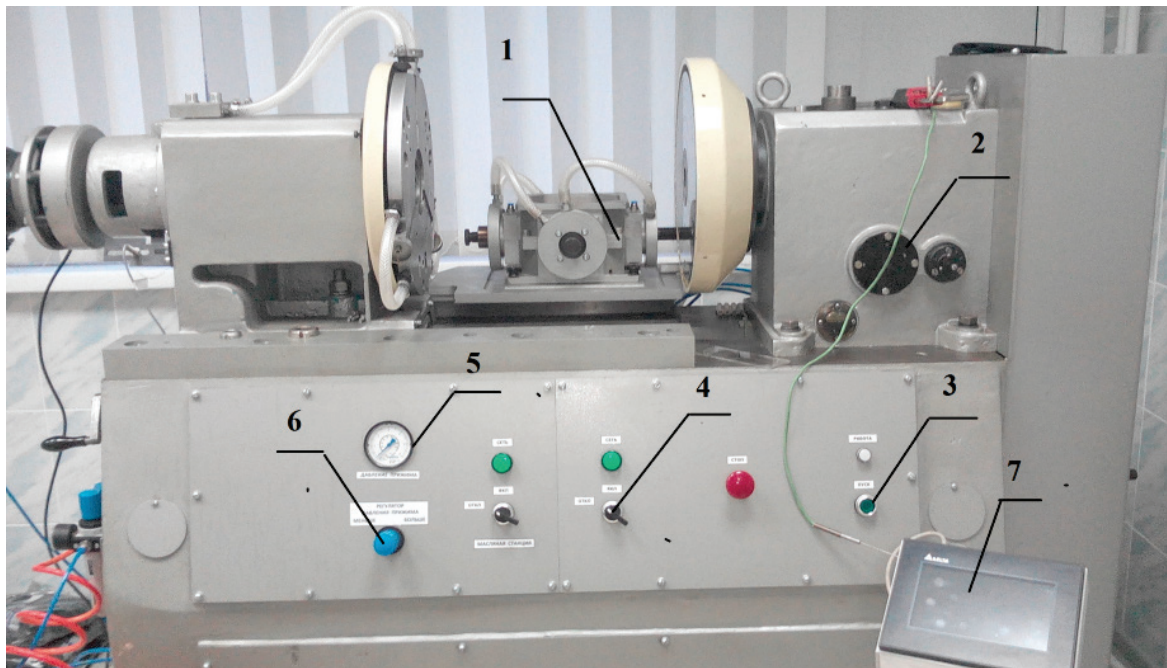
Перед началом проведения испытаний на универсальной машине трения необходимо пройти инструктаж по технике безопасности при работе



на лабораторном оборудовании и изучить устройство машины и систему управления ею.

### Методика эксперимента

Определение характеристик триботехнических свойств конструкционных сталей и сплавов (скорости изнашивания и коэффициента трения) проводится на универсальной машине трения марки «УМТ-2168», укомплектованной устройством для испытания образцов при возвратно-поступательном движении. Основные узлы и механизмы управления машиной трения показаны на рис. 4.2.



*Рис. 4.2. Универсальная машина трения «УМТ-2168»:*

1 – устройство для проведения испытаний при возвратно-поступательном движении;  
2 – привод; 3 – кнопка «Пуск»; 4 – тумблер включения маслостанции; 5 – манометр давления масла, создающего контактное давление; 6 – регулятор давления; 7 – блок электронно-программного комплекса

Схема трения при возвратно-поступательном движении показана на рис. 4.3. Образец для испытания «палец» показан на рис. 4.4. В рабочий

узел машины трения (рис. 4.5) одновременно устанавливаются два цилиндрических образца («палец») из исследуемого материала, сопряженных с контробразцом («стержень») под углом  $90^\circ$ . Испытания проводятся по схеме трения «палец – стержень» при заданном режиме возвратно-поступательного движения. Методика испытания предусматривает предварительную промывку цилиндрических рабочих поверхностей образцов бензином-растворителем БР-1 и этиловым спиртом (ГОСТ 18300–72), протирку насухо салфеткой и выдержку на воздухе не менее 10 минут.

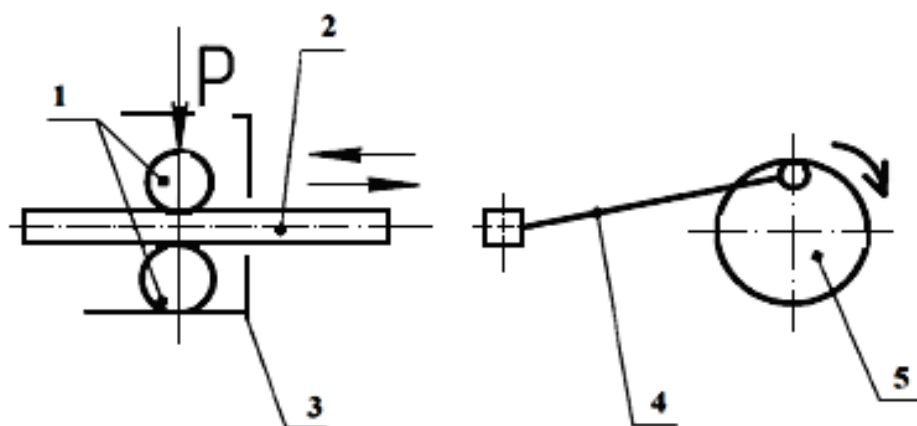


Рис. 4.3. Схема трения образцов и привода (кривошипно-шатунного механизма):

1 – образец «палец»; 2 – контробразец «стержень»; 3 – скоба;  
4 – шатун; 5 – кривошип

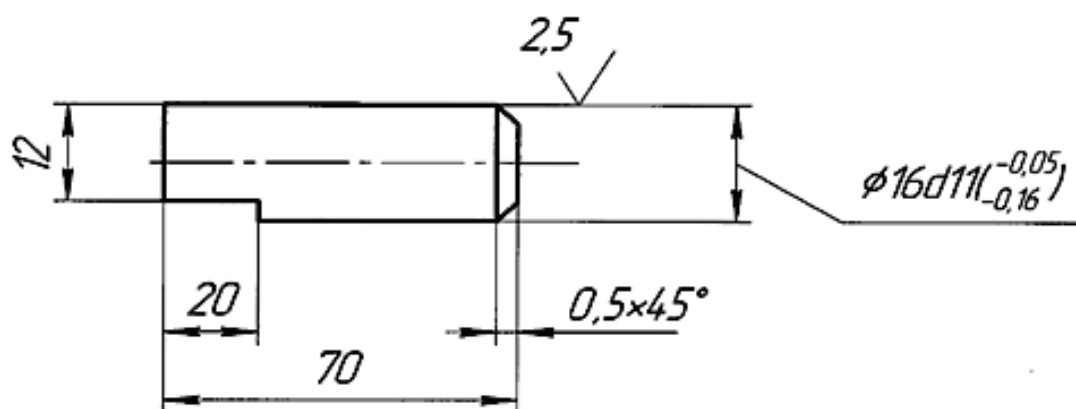


Рис. 4.4. Образец «палец» для испытания при относительном возвратно-поступательном движении

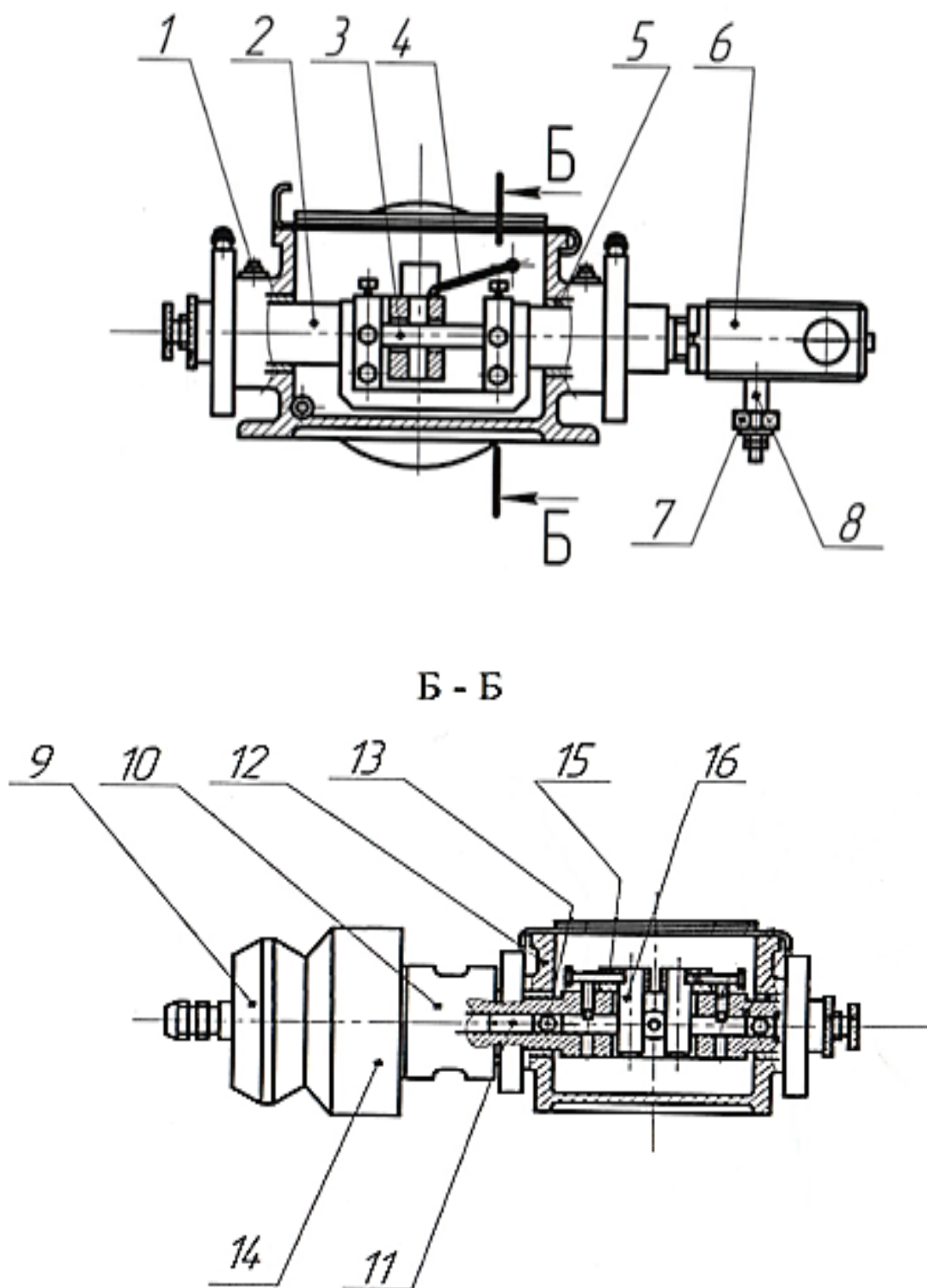


Рис. 4.5. Рабочий узел машины:

1 – штуцер; 2 – ползун; 3 – контрообразец «стержень»; 4 – труба; 5, 7 – подшипник;  
 6 – серьга; 8 – ось; 9 – камера пневматическая; 10 – муфта; 11 – стержень;  
 12 – корпус; 13 – шарик; 14 – силоизмеритель; 15 – хомут; 16 – образец «палец»

Металлические образцы перед началом испытания, после приработки и каждого этапа испытаний протираются салфеткой, смоченной в этиловом спирте. Перед началом испытания образцы взвешивают на микроаналитических весах типа ВЛР-200Г с погрешностью не более 0,015 мг. После приработки и взвешивания образцы устанавливают в рабочий узел, а в блок электронно-программного комплекса вводят схему и режимы испытания:

- частоту возвратно-поступательного движения,  $\text{мин}^{-1}$ ;
- усилие контактного взаимодействия, Н;
- схему трения.

Температуру в зоне трения определяют с помощью проволочной термопары. По заданию преподавателя испытание проводится в условиях сухого трения (без смазки) или граничного трения. При сухом или ограниченном трении проводится испытание образцов из материалов двух марок.

Регулятором 6 (рис. 4.2) на пульте управления машины трения производят настройку необходимого усилия взаимодействия образцов «палец» с контробразцом «стержень». Контроль заданных параметров осуществляют по показаниям электронно-программного комплекса. По окончании настройки машины трения приступают к проведению испытания, нажав кнопку «Пуск» на панели управления. Испытание каждого образца на заданном режиме проводится в течение 20–30 минут. В процессе испытания через каждые 5 минут контролируются сила трения (по показаниям блока электронно-программного комплекса) и температура в зоне трения с помощью ручной термопары. Испытание в условиях граничного трения проводить с нанесением смазки на поверхности трения перед началом испытания.

По окончании испытания производят демонтаж образцов, протирают их салфеткой, смоченной в этиловом спирте, и проводят взвешивание каждого образца. Результаты всех измерений заносят в журнал испытания.

## Обработка экспериментальных данных

По результатам всех измерений для каждого образца вычислить массовую скорость изнашивания по формуле

$$J = \frac{m_1 - m_2}{\tau},$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца «палец» до и после испытания соответственно;  
 $\tau$  – продолжительность испытания, ч;  $J$  – массовая скорость изнашивания, г/ч.

Построить график зависимости температуры от продолжительности испытания каждого материала.

Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы (табл. 4.1).

Таблица 4.1

№ обр.	Марка материала	Масса образца, г			Скорость изнашивания $J \cdot 10^{-4}$ , г/ч	Средняя скорость изнашивания $J \cdot 10^{-4}$ , г/ч	Темп. $T$ , °C
		$m_1$	$m_2$	$\Delta m$			
1							
2							
1							
2							

Сформулировать выводы по результатам исследования характеристик износостойкости испытанных образцов и оформить отчёт, отразив в нем характер зависимости температуры в зоне трения от продолжительности испытания и влияния марки материала на его износостойкость.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные схемы трения, реализуемые в трибосистемах.
2. Схема трения образцов в данной лабораторной работе.
3. Характеристики износостойкости металлических и полимерных материалов.
4. Характеристики износостойкости, их размерность и приемлемые значения для изделий машиностроения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машков, Ю. К. Трибофизика и структурная модификация материалов трибосистем : монография / Ю. К. Машков, О. В. Кропотин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2009. – 324 с.
2. Машков, Ю. К. Трибофизика металлов и полимеров : монография / Ю. К. Машков. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 240 с.
3. Полимерные композиционные материалы в триботехнике : монография / Ю. К. Машков, З. Н. Овчар, М. Ю. Байбарацкая, О. А. Мамаев. – М. : ООО «Недра – Бизнесцентр», 2004. – 262 с.

Редактор *М. А. Болдырева*  
Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Сводный темплан 2016 г.  
Подписано в печать 25.01.16. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Отпечатано на дупликаторе.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,00. Уч.-изд. л. 2,00.  
Тираж 100 экз. Заказ 68.

---

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.  
Типография ОмГТУ.