

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОСНОВЫ ТРИБОТЕХНИКИ. ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве
учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальностям
1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство
в сельском хозяйстве, 1-36 12 01 Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники*

Минск
БГАТУ
2020

УДК 621.891(015)
ББК 34.41я7
О-75

Составители:

доктор физико-математических наук, профессор *Н. К. Толочко*,
кандидат технических наук, доцент *В. Е. Тарасенко*

Рецензенты:

кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод» БНТУ
(доктор технических наук, профессор *А. И. Бобровник*);
кандидат технических наук, доцент,
ученый секретарь РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства» *Ю. Л. Саланура*

Основы триботехники. Практикум : учебно-методическое пособие
О-75 / сост.: Н. К. Толочко, В. Е. Тарасенко. – Минск : БГАТУ, 2020. – 124 с.
ISBN 978-985-25-0032-6.

Представлены требования по структуре, содержанию, выполнению и оформлению работ по дисциплине «Основы триботехники». Приведены методические рекомендации и нормативно-справочные материалы, необходимые для выполнения работ. Дан пример расчета и оформления практических работ.

Практикум предназначен для студентов специальности 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве.

УДК 621.891(015)
ББК 34.41я7

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ТРЕНИЯ 2070 СМТ-1	5
2. ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ 2070 СМТ-1	11
3. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ЧМТ-1	16
4. ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ ЧМТ-1	21
5. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ИМ-01	27
6. ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ ИМ-01	32
7. ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ	37
8. ПОСТРОЕНИЕ ОПОРНОЙ КРИВОЙ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	62
ПРИЛОЖЕНИЯ	63
Приложение 1 ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ: ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ*	64
Приложение 2 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ 2070 СМТ-1	78
Приложение 3 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ЧМТ-1	89
Приложение 4 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ИМ-01	104
Приложение 5 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОФИЛОМЕТРА-ПРОФИЛОГРАФА TIME 3220	110

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в разных странах мира широкое развитие получила трибология – наука о трении и связанных с ним процессах изнашивания и смазки, прежде всего, ее прикладной раздел – триботехника, которая занимается вопросами проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта узлов трения. Это вызвано все возрастающими требованиями к повышению надежности машин, выход которых из строя в 80–90 % случаев происходит из-за повреждения узлов трения [1]. В этой связи особенно актуальной становится проблема увеличения ресурса машин за счет использования деталей узлов трения с повышенной износостойкостью. В рамках решения этой проблемы все больше внимания уделяется поиску оптимальных решений при выборе материалов и конструкций узлов трения, технологий их производства и ремонта, совершенствованию условий эксплуатации машин, при которых обеспечивается уменьшение изнашивания трущихся деталей.

Настоящий практикум призван привить студентам навыки практического использования знаний в области триботехники, полученных в ходе проведения лекционных занятий в университете. В нем представлен комплекс лабораторных работ, связанных с выполнением испытаний материалов на износ на машинах трения, а также с определением характера изменения качества поверхностей трения в процессе изнашивания методом профилометрии. Выполняя эти работы, студенты смогут глубже изучить закономерности трения и изнашивания, научатся делать сравнительные оценки свойств триботехнических материалов и проводить анализ эффективности их применения в узлах трения.

В практикуме для каждой лабораторной работы кратко изложены основные положения, методические указания и порядок выполнения работы. Более подробные сведения, необходимые для проведения работ, даны в приложениях, где представлены основные терминологические сведения в области трения и изнашивания, а также руководства по эксплуатации испытательной и измерительной техники, используемой в лабораторных работах.

1. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ТРЕНИЯ 2070 СМТ-1

Цель работы – изучение устройства и принципа работы машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

- устройство машины 2070 СМТ-1;
- принцип работы машины 2070 СМТ-1;
- порядок проведения испытаний материалов на износ с помощью машины 2070 СМТ-1.

Студент должен уметь:

- составлять блок-схему машины 2070 СМТ-1;
- проводить испытания материалов на износ с помощью машины 2070 СМТ-1.

Необходимое оборудование и принадлежности:

- машина для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;
- набор исходных образцов для проведения испытаний с помощью машины 2070 СМТ-1 по различным схемам испытаний («диск–диск», «диск–колодка», «вал–втулка»).

1.1. Основные положения

Машина 2070 СМТ-1 предназначена для испытания материалов на трение и износ, для изучения процессов трения и износа металлов, сплавов и жестких конструкционных пластмасс.

Принцип действия машины заключается в истирании пары испытательных образцов материалов, прижатых друг к другу с заданной силой, при вращении трущихся поверхностей относительно один другого с заданной частотой. Частота вращения вала нижнего образца может изменяться в диапазоне от 75 до 1500 мин⁻¹, усилие прижима испытываемых образцов – в диапазоне от 200 до 5000 Н.

В соответствии с видами подвергаемых испытаниям пар образцов существуют следующие варианты схем испытаний: «диск–диск», «диск–колодка», «вал–втулка» (рис. 1).

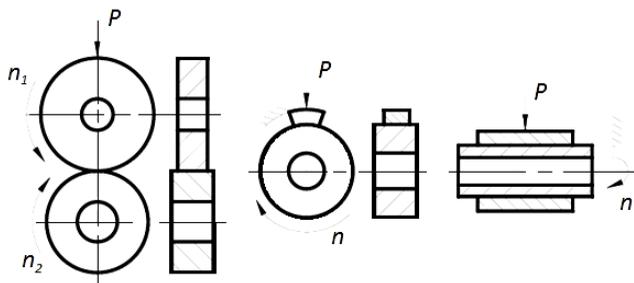


Рис. 1. Варианты схем испытаний «образец–контртело» на машине трения 2070 СМТ-1:

а – «диск–диск»; б – «диск–колодка»; в – «вал–втулка»

Внешний вид машины показан на рис. 2. Она состоит из двух частей: испытательной установки и пульта управления.

Испытательная установка содержит следующие основные функциональные узлы: испытательный блок (узел трения), блок привода, узел нагружения, камера.

Испытательный блок является основным узлом и предназначен для формирования испытываемой пары трения. Он должен обеспечивать точную и надежную установку образцов, однозначность и определенность в реализации схемы испытаний, включая равномерность нагрузки и износа образцов (соединения элементов испытательного блока не должны иметь люфтов). Также он должен обеспечивать возможность испытаний различных типов и размеров образцов по нескольким схемам (возможность быстрой переналадки). Обычно в испытательный блок конструктивно входит датчик силы (момента) трения, являющийся частью системы измерения.



Рис. 2. Внешний вид машины трения 2070 СМТ-1

Привод предназначен для сообщения движения одному или нескольким образцам, входящим в узел трения, и включает в себя электродвигатель и передаточный механизм, кинематика которого определяется характером относительного движения трущейся пары. Регулирование скорости в широких пределах осуществляется с помощью электропривода. Привод должен обеспечивать плавность движения, без рывков и ударов, если последние специально не предусмотрены используемым методом испытаний.

Узел нагружения предназначен для создания постоянной или переменной нормальной нагрузки на образцы, для чего используются специальные механизмы: рычажно-гравитационные, пружинные, пневматические и др. При этом должны обеспечиваться плавное приложение и стабильность режима нагружения независимо от изменения в процессе испытаний силы трения и величины износа.

Камера служит для проведения испытаний в специальных температурных условиях, в вакууме, при подаче смазочного материала, абразива и т. д. Также она выполняет защитную функцию, ограждая оператора от воздействия продуктов износа, шума и других вредных факторов. Камера может быть герметизирована полностью или частично.

Узлы испытательной установки обычно монтируются на общей станине, снабженной в необходимых случаях виброопорами. Конструкция испытательной установки должна обеспечивать надежную виброизоляцию (с учетом работы в условиях интенсивных динамических нагрузок), в том числе путем монтажа на изолированном фундаменте.

Испытательная установка электрически связана с пультом управления, который содержит блок управления и блок измерения.

На машине измеряются и регистрируются параметры, необходимые для получения информации о процессе трения: сила (момент) трения, сила нормального давления, скорость и путь трения, температура в заданной зоне, износ, работа трения и др.

Сущность испытаний на износ на машине трения состоит в том, что испытательные образцы подвергают изнашиванию при заданных условиях с использованием определенного смазочного материала и затем по измеренному значению износа определяют противоизносные свойства смазочного материала.

Существуют различные методы измерения износа, выбор того или иного метода зависит от конкретных условий испытаний, фор-

мы и материалов испытательных образцов. Наибольшее распространение находят метод взвешивания (измерение массового износа) и метод микрометрирования (измерение линейного износа). Измерение износа методом взвешивания осуществляют с использованием аналитических весов, позволяющих взвешивать с погрешностью не более 0,002 г. Измерение износа методом микрометрирования осуществляют в случаях большого (многократного) превышения значением износа предельной погрешности мерительного инструмента (микрометра).

1.2. Методические указания

В работе требуется:

- составить блок-схему машины трения;
- описать порядок испытаний материалов на износ на машине трения.

Составление блок-схемы

Блок-схема машины – это графическое представление ее конструкции, в которой ее отдельные элементы (конструктивно-функциональные узлы) изображаются в виде блоков различной геометрической формы, соединенных между собой линиями (конструктивно-функциональными связями). В отдельных случаях блоки могут быть непосредственно сопряжены друг с другом. К наиболее распространенным геометрическим формам, используемым для изображения блоков, относятся прямоугольники, трапеции, ромбы, овалы и др. Для изображения блоков некоторых специальных элементов могут использоваться более сложные геометрические формы.

При составлении блок-схемы машины следует отразить основные элементы ее конструкции, также следует указать функциональное назначение основных элементов конструкции, изображенных на блок-схеме.

Для того чтобы составить блок-схему машины, следует предварительно ознакомиться с описанием устройства машины, представленным в разделе «1. Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации машины трения 2070 СМТ-1 (Приложение 2), после чего изучить вместе с преподавателем устройство машины, установленной в лаборатории.

Описание порядка испытаний

Для того чтобы описать порядок испытаний, следует предварительно ознакомиться с описанием принципа работы машины трения, представленным в разделе «1. Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации машины трения 2070 СМТ-1 (Приложение 2), после чего провести вместе с преподавателем демонстрационные испытания набора образцов из стали 45 на машине, установленной в лаборатории, по различным схемам испытаний («диск–диск», «диск–колодка», «вал–штулка»).

Описываемый порядок испытаний следует представить в виде табл. 1, в которой указываются процедуры испытаний в последовательности их выполнения. Заполнение табл. 1 следует проводить с учетом перечня процедур испытаний на износ, представленных в произвольной последовательности в табл. 2.

Таблица 1

Порядок испытаний на износ

Номер строки	Процедуры испытаний
...	

Таблица 2

Процедуры испытаний на износ (представлены в произвольной последовательности)

Условное обозначение процедуры испытаний	Процедуры испытаний
А	Установить требуемую частоту вращения
Б	Включить электродвигатель машины
В	Измерить весовой (или линейный) износ образцов
Г	Образцы, подготовленные к испытаниям, промыть бензином, а затем просушить на воздухе
Д	Сблизить образцы, плавно введя их в соприкосновение и обеспечивая нагружение требуемым усилием
Е	Извлечь образцы из испытательной установки, промыть бензином, а затем просушить на воздухе
Ж	Смонтировать образцы на испытательной установке и залить смазочный материал в ванну так, чтобы наружная кромка подвижного образца была погружена в смазочный материал на глубину не менее 2 мм
З	Выключить электродвигатель машины по достижении заданного суммарного числа оборотов в зависимости от выбранного вида испытаний

1.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Изучить устройство и принцип работы машины трения, провести демонстрационные испытания набора образцов на машине по различным схемам испытаний («диск–диск», «диск–колодка», «вал–втулка»).
4. Составить блок-схему машины трения.
5. Описать порядок проведения испытаний на износ на машине трения.
6. Проанализировать полученные результаты.
7. Составить отчет.

1.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о назначении, устройстве и принципе работы машины трения.
3. Блок-схема машины трения.
4. Порядок проведения испытаний на износ на машине трения.
5. Выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Какие существуют схемы контактирования образцов пар трения ?
2. Перечислите основные блоки машины трения и укажите их функциональное назначение.
3. Назовите основные технические характеристики машины трения.
4. В чем состоит принцип работы машины трения?
5. Каков порядок испытаний материалов на износ на машине трения?

Рекомендуемая литература: [1–6]

2. ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ 2070 СМТ-1

Цель работы – определение величины износа испытательных образцов на машине для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1; определение интенсивности изнашивания испытательных образцов.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

- порядок проведения испытаний материалов на износ с помощью машины 2070 СМТ-1;
- методику определения величины массового износа испытательных образцов;
- методику определения интенсивности изнашивания испытательных образцов.

Студент должен уметь:

- определять величину массового износа испытательных образцов;
- определять интенсивность изнашивания испытательных образцов.

Необходимое оборудование и принадлежности:

- набор испытательных образцов, подвергнутых испытаниям на износ на машине 2070 СМТ-1;
- весы аналитические ВЛА-200М.

2.1. Основные положения

В процессе испытаний на износ на машине трения испытательные образцы подвергают изнашиванию при заданных условиях с использованием определенного смазочного материала, после чего по измеренной величине износа судят о противоизносных свойствах смазочного материала.

Изнашивание – это процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и/или накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Процесс изнашивания характеризуется скоростью изнашивания и интенсивностью изнашивания. Скорость изнашивания – это отношение износа детали (испытательного образца) ко времени, в течение которого происходило изнашивание. Интенсивность изнашивания – это отношение износа детали (испытательного образца) к пути трения или объему выполненной работы.

Износ – это результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Величина износа может выражаться в единицах длины, объема, массы и др.

Среди различных методов определения износа наибольшее распространение получил метод взвешивания (определение массового износа). Массовый износ определяют с использованием аналитических весов, позволяющих взвешивать с погрешностью не более 0,002 г.

Величина массового износа Δm вычисляется по формуле

$$\Delta m = m_2 - m_1, \quad (1)$$

где m_1 и m_2 – массы образца до и после испытаний.

Интенсивность изнашивания I вычисляется по формуле

$$I = \frac{\Delta m}{\gamma A_\alpha L}, \quad (2)$$

где γ – плотность материала образца;

A_α – номинальная площадь контакта, L – длина пути скольжения.

Под номинальной площадью контакта понимают такую площадь, по которой соприкасались бы тела, если бы их поверхности имели идеально гладкую геометрическую форму.

В случае испытаний на износ, проводимых по схеме «диск–колодка», подвергаемая изнашиванию колодка имеет вид сегмента кольца. Соответственно, номинальная площадь контакта колодки вычисляется по формуле

$$A_\alpha = \frac{\pi d}{360^\circ} h, \quad (3)$$

где d – внутренний диаметр кольца, α – угол сегмента кольца, h – ширина колодки.

Длина пути скольжения колодки вычисляется по формуле

$$L = \pi d n t, \quad (4)$$

где n – частота вращения контртела, t – время испытаний.

2.2. Методические указания

В работе требуется:

- определить величину износа испытательных образцов;
- определить интенсивность изнашивания испытательных образцов на основании результатов измерения величины их износа.

Испытания на износ следует проводить с учетом описания принципа работы машины трения, представленного в методических указаниях к лабораторной работе № 1 «Устройство и принцип работы машины трения СМТ-1», а также в соответствии с Руководством по эксплуатации машины трения ЧМТ-1 (Приложение 2).

Определение величины износа

Массовый износ определяется методом взвешивания с помощью аналитических весов. Взвешиванию подлежат испытательные образцы – диски и колодки с известной исходной массой, подвергнутые изнашиванию на машине трения. Величина массового износа Δm вычисляется по формуле (1).

Определение интенсивности изнашивания

Интенсивность изнашивания испытательного образца вычисляется по формуле (2). Предварительно вычисляется номинальная площадь контакта по формуле (3) и длина пути скольжения по формуле (4).

Вычисления проводятся при следующих значениях параметров: $m_1 = 14,5$ г; $m_2 = 14,4$ г; $n = 240$ мин⁻¹; $t = 60$ мин; необходимые для вычислений значения параметров d , a и h указаны на рис. 1.

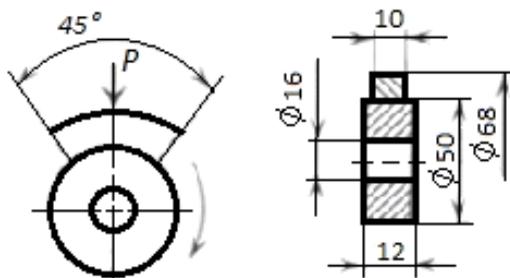


Рис. 1. Схема испытаний «диск–колодка»

На основании полученных значений интенсивности изнашивания следует определить класс износостойкости материала испытательного образца и вид контактного взаимодействия поверхностей по табл. 1.

Таблица 1

Классы износостойкости узлов трения машин

Класс износостойкости	Интенсивность изнашивания		Вид контактного взаимодействия поверхностей
	от	до	
Нулевой	10^{-13}	10^{-12}	Упругое
Первый	10^{-12}	10^{-11}	
Второй	10^{-11}	10^{-10}	
Третий	10^{-10}	10^{-9}	Упруго-пластическое
Четвертый	10^{-9}	10^{-8}	
Пятый	10^{-8}	10^{-7}	Пластическое
Шестой	10^{-7}	10^{-6}	
Седьмой	10^{-6}	10^{-5}	
Восьмой	10^{-5}	10^{-4}	Микрорезание (хрупкое и вязкое разрушение)
Девятый	10^{-4}	10^{-3}	
Десятый	10^{-3}		

2.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Определить величину износа испытательных образцов.
4. Определить интенсивность изнашивания испытательных образцов.
6. Проанализировать полученные результаты.
7. Составить отчет.

2.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Определение понятий массового износа и интенсивности изнашивания.
3. Описание процедуры и результатов определения массового износа.
4. Описание процедуры и результатов определения интенсивности изнашивания.
5. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуется процесс изнашивания?
2. С какой допустимой погрешностью определяется износ с использованием аналитических весов?
3. Как изменяется интенсивности изнашивания с изменением массового износа, плотности материала образца, номинальной площади контакта и длины пути скольжения?
4. Как изменяется класс износостойкости узлов трения с изменением интенсивности изнашивания?
5. Назовите виды контактного взаимодействия поверхностей.

Рекомендуемая литература: [1–6]

3. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ЧМТ-1

Цель работы – изучение устройства и принципа работы четырехшариковой машины трения ЧМТ-1.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

- устройство машины ЧМТ-1;
- принцип работы машины ЧМТ-1;
- порядок проведения испытаний материалов на износ на машине ЧМТ-1.

Студент должен уметь:

- составлять блок-схему машины ЧМТ-1;
- проводить испытания материалов на износ с помощью машины трения ЧМТ-1.

3.1. Основные положения

Машина предназначена для испытаний жидких и пластичных смазочных материалов, применяемых для смазывания трущихся поверхностей, с целью определения основных трибологических характеристик смазочных материалов в соответствии с ГОСТ 9490–75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине».

Принцип действия машины основан на воспроизведении нормированных воздействий на испытательные образцы, находящиеся в испытуемом смазочном материале, с последующим определением величины износа испытательных образцов.

В качестве испытательных образцов используются шарики ($12,70 \pm 0,01$) из стали ШХ-15, которые образуют пирамидку из четырех шариков, контактирующих между собой. Три нижних шарика закреплены неподвижно в узле трения машины, в котором размещается испытуемый смазочный материал. Верхний шарик, закрепленный в шпинделе машины, прижимается к нижним шарикам с заданным усилием (осевой нагрузкой) и вращается с фиксированной скоростью.

Частота вращения шпинделя машины с закрепленным в нем верхним шариком, в диапазоне осевых нагрузок в узле трения от 59 до 9 800 Н (от 6 до 1000 кгс), составляет $1\,460 \pm 70 \text{ мин}^{-1}$. Длительность испытаний на износ составляет 60 мин. Требуемое значение осевых нагрузок задается путем установления гиредержателя с необходимым набором гирь в положение, определяемое индексом на рычаге.

Сущность испытаний на износ на машине трения состоит в том, что испытательные образцы подвергают изнашиванию при заданных условиях с использованием определенного смазочного материала и затем по измеренному значению износа определяют противоизносные свойства смазочного материала.

Величина износа определяется путем измерения диаметров пятен износа каждого из трех нижних шариков с помощью микроскопа с увеличением не менее $24\times$, снабженного отсчетной шкалой с ценой деления не менее 0,01 мм. Диаметры пятен износа измеряют во взаимно перпендикулярных направлениях. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение измерений пятен износа трех нижних шариков.

Внешний вид машины показан на рис. 1. Она состоит из следующих основных частей: стойки, содержащей панель управления, и узла трения, содержащего электродвигатель, устройство нагружения, а также приспособления для установки шариков (на рис. не указаны).

Схема расположения шариков в узле трения показана на рис. 2.

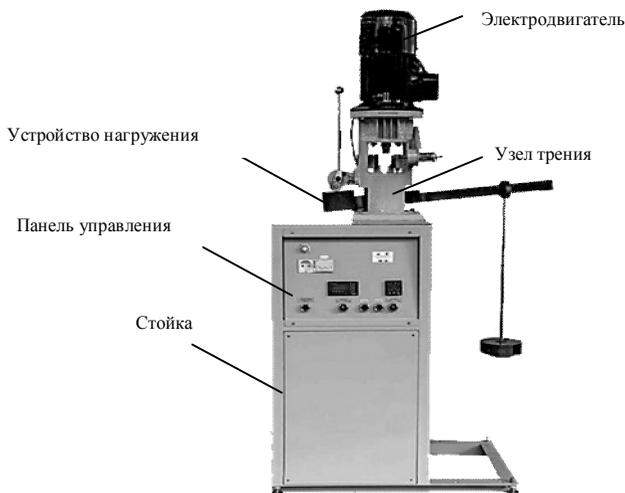


Рис. 1. Внешний вид четырехшариковой машины трения ЧМТ-1

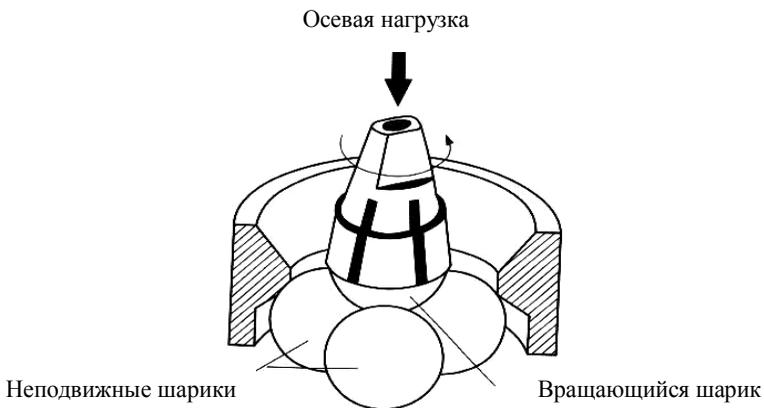


Рис. 2. Схема расположения шариков в узле трения

3.2. Методические указания

В работе требуется:

- составить блок-схему машины трения и блок-схему узла трения;
- описать порядок испытаний материалов на износ на машине трения.

Составление блок-схемы

При составлении блок-схемы машины и блок-схемы узла трения следует руководствоваться требованиями к составлению блок-схем, изложенными в методических указаниях к лабораторной работе № 1 «Устройство и принцип работы машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СТМ-1».

Для того чтобы составить блок-схему машины и блок-схему узла трения, следует ознакомиться с ее конструкцией, описанной в разделе «1. Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации машины трения ЧМТ-1 (Приложение 3).

Описание порядка испытаний

Для того чтобы описать порядок испытаний, следует предварительно ознакомиться с описанием принципа работы машины трения, представленным в разделе «1. Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации машины трения ЧМТ-1 (Приложение 3),

затем следует просмотреть видеофильм, демонстрирующий процедуры испытаний материалов на износ на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1. Для обеспечения полноты и правильности описания порядка испытаний видеофильм просматривается несколько раз либо используется покадровый просмотр.

Описываемый порядок испытаний следует представить в виде табл. 1, в которой указываются процедуры испытаний в последовательности их выполнения.

Заполнение табл. 1 следует проводить с учетом перечня процедур испытаний на износ, представленных в произвольной последовательности в табл. 2.

Таблица 1

Порядок испытаний на износ

Номер строки	Процедуры испытаний
...	

Таблица 2

Процедуры испытаний на износ (представлены в произвольной последовательности)

Условное обозначение процедуры испытаний	Процедуры испытаний
А	Вставить шарик в шпиндель машины
Б	Установить корпус с вставленными в него тремя шариками в узел трения машины
В	Включить электродвигатель машины
Г	Установить требуемое время испытаний
Д	Шарики, подготовленные к испытаниям, промыть бензином, а затем просушить на воздухе
Е	Поставить на гиредержатель необходимый набор гирь
Ж	Измерить диаметры пятен износа каждого из трех нижних шариков
З	Вставить три шарика в корпус для крепления трех нижних шариков, залить смазочный материал в корпус так, чтобы шарики были полностью покрыты им
И	Извлечь шарики из узла трения машины, промыть их бензином, а затем просушить на воздухе
К	Выключить электродвигатель машины по окончании требуемого времени испытаний

3.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы, просмотреть видеофильм.
3. Составить блок-схему машины трения.
4. Описать порядок проведения испытаний на износ на машине трения.
5. Проанализировать полученные результаты.
6. Составить отчет.

3.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о назначении, устройстве и принципе работы машины трения.
3. Блок-схема машины трения и блок-схема узла трения.
4. Порядок проведения испытаний на износ на машине трения.
5. Выводы.

3.5. Контрольные вопросы

1. Назовите основные конструктивные части машины трения.
2. Назовите основные конструктивные части узла трения машины.
3. Назовите основные конструктивные части корпуса для крепления нижних шариков.
4. Какова схема расположения шариков в узле трения?
5. В чем состоит принцип работы машины трения?
6. Каков порядок испытаний материалов на износ на машине трения?

Рекомендуемая литература: [1–6]

4. ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ ЧМТ-1

Цель работы – изучение триботехнических свойств смазочных масел, модифицированных углеродными наноматериалами (УНМ), на основе анализа результатов испытаний на износ на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

– порядок проведения испытаний материалов на износ на машине ЧМТ-1;

– методику изучения триботехнических свойств смазочных масел на основе анализа результатов испытаний на износ на машине ЧМТ-1;

– возможности улучшения триботехнических свойств смазочных масел путем их модифицирования УНМ.

Студент должен уметь:

– определять особенности изменения триботехнических свойств смазочных масел за счет их модифицирования УНМ на основе анализа результатов испытаний на износ на машине ЧМТ-1.

4.1. Основные положения

В последние годы все больше повышается научный и практический интерес к исследованиям, связанным с созданием наносуспензий. Одним из перспективных видов наносуспензий являются смазочные масла, модифицированные углеродными наночастицами. Такие масла обладают улучшенными триботехническими свойствами, в частности, обеспечивают снижение износа поверхностей трения. Причины улучшения триботехнических свойств связываются с формированием устойчивых разделительных слоев на пятнах физического контакта вследствие адсорбционного взаимодействия углеродных наночастиц и молекул масла с образованием ионных кластеров, а также с формированием более гладкого рельефа поверхностей трения. С практической точки зрения важно создавать наномодифицированные смазочные масла с заданными триботехническими свойствами.

Изучение триботехнических свойств смазочных масел, модифицированных углеродными наночастицами, проводится на основе анализа результатов испытаний на износ на машине трения, в частности, при проведении испытаний на износ на машине ЧМТ-1 – на основе сравнительной оценки диаметров пятен износа, образующихся на поверхности испытательных шариков при использовании смазочных масел, подвергнутых различным видам наномодифицирования.

4.2. Методические указания

В работе требуется определить особенности изменения триботехнических свойств смазочного масла при его модифицировании УНМ с разной концентрацией и УНМ разного типа – на основе сравнительной оценки диаметров пятен износа, образующихся на поверхности испытательных шариков при проведении испытаний на износ на машине ЧМТ-1.

Испытания на износ следует проводить с учетом описания принципа работы машины трения, представленного в методических указаниях к лабораторной работе № 3 «Устройство и принцип работы машины трения ЧМТ-1», а также в соответствии с Руководством по эксплуатации машины трения ЧМТ-1 (Приложение 3).

При проведении испытаний изнашиванию подвергаются четыре контактирующих друг с другом стальных шарика диаметром 12,7 мм. Три нижних шарика закреплены неподвижно в чашке с испытуемым смазочным маслом, которое заливают в чашку таким образом, чтобы шарики были полностью покрыты им. Верхний шарик вращается относительно трех нижних с частотой $f = 1400$ об/мин под нагрузкой $P = 196$ Н.

Для оценки эффективности модифицирования смазочного масла используется параметр величины износа шариков при их взаимном трении. Величина износа характеризуется средним диаметром пятна износа D всех неподвижных шариков в двух параллельных испытаниях с точностью не менее 0,01 мм. Диаметр пятна износа для каждого шарика определяется как среднее арифметическое значение диаметров пятна износа в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 1)

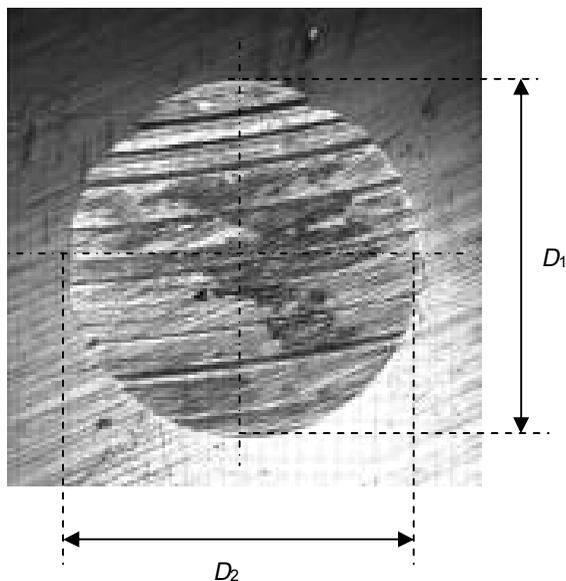


Рис. 1. Пятно износа неподвижного нижнего шарика и схема измерения диаметров D_1 и D_2 пятна износа в двух взаимно перпендикулярных направлениях

Для определения особенностей изменения триботехнических свойств модифицированного смазочного масла сравниваются результаты испытаний на износ для этого масла и чистого исходного масла.

При проведении испытаний используется моторное масло М8В (ГОСТ 10541–78); в качестве модифицирующей добавки к смазочному маслу используется углеродный наноразмерный порошок двух типов, синтезированный путем обработки метано-воздушной смеси плазмой высоковольтного разряда атмосферного давления: тип М – УНМ, имеющий преимущественно аморфную структуру, и тип Н – УНМ, состоящий преимущественно из нанотрубок (более 80 % по массе).

Определение триботехнических свойств смазочного масла при модифицировании УНМ с разной концентрацией

Первоначально проводятся испытания на чистом масле, полученный результат сравнивается с результатом испытаний для масел с разным содержанием УНМ типа М. На основании анализа результатов испытаний делается вывод об эффективности применения тех или иных концентраций УНМ для уменьшения величины износа. Измеренные значения диаметров пятен износа показаны в табл. 1.

Таблица 1

Значения диаметра пятен износа D для масла, модифицированного УНМ типа М с различной концентрацией C

C , % масс.	0	0,05	0,1	0,25	0,5	1
D , мм	0,55	0,52	0,35	0,42	0,46	0,47

Требуется:

– построить график изменения диаметра пятен износа в зависимости от концентрации УНМ, согласно данным табл. 1;

– указать наибольшее уменьшение диаметра пятна износа в результате наномодифицирования масла (в % по отношению к пятну износа для чистого масла) и значение концентрации УНМ, при котором наблюдается наибольшее уменьшение диаметра пятна износа.

Определение триботехнических свойств смазочного масла при модифицировании УНМ разного типа

Первоначально проводятся испытания на чистом масле, полученный результат сравнивается с результатом испытаний для масел, содержащих УНМ разного типа с концентрацией $C = 0,1$ % масс. На основании анализа результатов испытаний делается вывод об эффективности применения того или иного типа УНМ для уменьшения величины износа. Измеренные значения диаметров пятен износа показаны в табл. 2 и 3.

Требуется определить эффективность уменьшения диаметра пятна износа в результате модифицирования масла разными типами УНМ (в процентах по отношению к пятну износа для чистого масла) и представить полученные результаты в виде табл. 3.

Таблица 2

Значения диаметра пятен износа D для моторного масла М8В, чистого и модифицированного УНМ типа М и Н

Вид испытуемого масла	Чистое масло	Масло с УНМ типа М	Масло с УНМ типа Н
D , мм	0,55	0,35	0,39

Таблица 3

Эффективность уменьшения диаметра пятна износа в результате модифицирования масла разными типами УНМ

Тип порошка	Средний диаметр пятен износа D , мм.	Уменьшение износа по сравнению с чистым маслом, %
Без порошка (чистое масло)		

1	2	3
УНМ типа М		
УНМ типа Н		

4.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Определить особенности изменения триботехнических свойств смазочного масла при его модифицировании УНМ с разной концентрацией и УНМ разного типа.
4. Проанализировать полученные результаты.
5. Составить отчет.

4.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о влиянии наномодифицирования смазочных масел на их триботехнические свойства.
3. График изменения диаметра пятен износа в зависимости от концентрации УНМ.
4. Сведения о наибольшем уменьшении диаметра пятна износа в результате наномодифицирования масла (в процентах по отношению к пятну износа для чистого масла) и значении концентрации УНМ, при котором наблюдается наибольшее уменьшение диаметра пятна износа.
5. Сведения об эффективности уменьшения диаметра пятна износа в результате модифицирования масла разными типами УНМ (в виде таблицы).
6. Выводы.

4.5. Контрольные вопросы

1. Как изменяется диаметр пятен износа при модифицировании моторного масла М8В углеродным наноматериалом – увеличивается или уменьшается?

2. Каков характер изменения диаметра пятен износа по мере увеличения концентрации углеродного наноматериала в моторном масле М8В – линейный или нелинейный? монотонный или немонотонный?

3. При какой концентрации УНМ наблюдается наименьший диаметр пятна износа?

4. Какой тип УНМ оказывает наибольшее модифицирующее влияние на масло – тип М или тип Н?

Рекомендуемая литература: [1–6]

5. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ИМ-01

Цель работы – изучение устройства и принципа работы машины для испытания материалов на трение и износ ИМ-01.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

- устройство машины ИМ-01;
- принцип работы машины ИМ-01;
- порядок проведения испытаний материалов на износ с помощью машины ИМ-01.

Студент должен уметь:

- составлять блок-схему машины ИМ-01;
- проводить испытания материалов на износ с помощью машины ИМ-01.

Необходимое оборудование и принадлежности:

- машина для испытания материалов на трение и износ ИМ-01;
- набор исходных образцов для проведения испытаний с помощью машины ИМ-01.

5.1. Основные положения

Машина предназначена для испытания металлических материалов и металлических покрытий на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы в соответствии с ГОСТ 23.208–79.

Принцип действия машины заключается в том, что при одинаковых условиях производят трение образцов исследуемого и эталонного материалов об абразивные частицы, подаваемые в зону трения и прижимаемые к образцу вращающимся резиновым роликом, измеряют износ образцов испытуемого и эталонного материалов, а износостойкость испытуемого материала оценивают путем сравнения его износа с износом эталонного образца.

Внешний вид машины показан на рис. 1, а ее принципиальная схема – на рис. 2. Машина содержит привод 7, обеспечивающий

вращение вокруг горизонтальной оси резинового ролика 6, образцедержатель 2, рычаг 3, прижимающий образец 1 к ролику, устройство 5, дозирующее подачу абразивных частиц в зону трения по направляющему лотку 4, устройство 8 для контроля суммарного количества оборотов ролика в процессе испытаний.

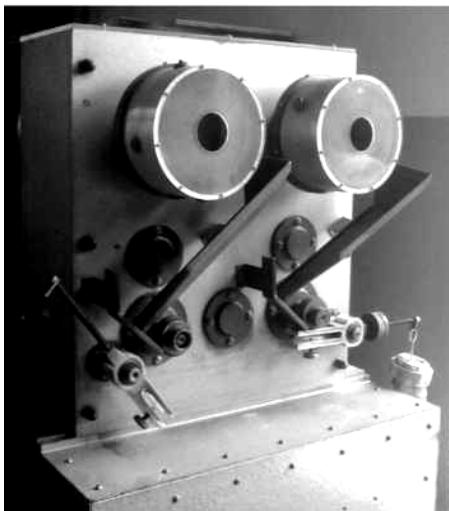


Рис. 1. Внешний вид машины трения ИМ-01

5.2. Методические указания

В работе требуется:

- составить блок-схему машины трения;
- описать порядок испытаний материалов на износ на машине трения.

Составление блок-схемы

При составлении блок-схемы машины следует руководствоваться требованиями к составлению блок-схем, изложенными в методических указаниях к лабораторной работе № 1 «Устройство и принцип работы машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СТМ-1».

Для того чтобы составить блок-схему машины и блок-схему узла трения, следует ознакомиться с ее конструкцией, описанной в разделе

«Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации машины трения ИМ-01 (Приложение 4), после чего изучить вместе с преподавателем устройство машины, установленной в лаборатории.

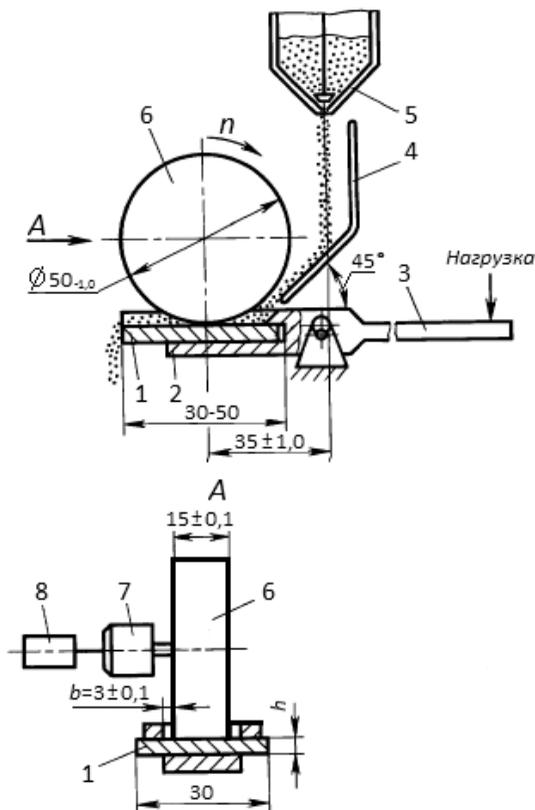


Рис. 2. Принципиальная схема машины трения ИМ-01

Описание порядка испытаний

Для того чтобы описать порядок испытаний, следует предварительно ознакомиться с описанием принципа работы машины трения, представленным в разделе «1. Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации машины трения ИМ-01 (Приложение 4), после чего провести вместе с преподавателем демонстрационные испытания набора образцов на машине, установленной в лаборатории.

Описываемый порядок испытаний следует представить в виде табл. 1, в которой указываются процедуры испытаний в последовательности их выполнения. Заполнение табл. 1 следует проводить с учетом перечня процедур испытаний на износ, представленных в произвольной последовательности в табл. 2.

Таблица 1

Порядок испытаний на износ

Номер строки	Процедуры испытаний
...	

Таблица 2

Процедуры испытаний на износ (представлены в произвольной последовательности)

Условное обозначение процедуры испытаний	Процедуры испытаний
А	Снять нагрузку
Б	Включить дозирующее устройство
В	Прижать образец рычагом к ролику
Г	Установить образец в образцедержателе испытательной установки
Д	Извлечь образец из испытательной установки, промыть бензином, а затем просушить на воздухе
Е	Привести ролик во вращение
Ж	Измерить весовой износ образца
З	Остановить привод

5.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Изучить устройство и принцип работы машины трения, провести демонстрационные испытания набора образцов на машине.
4. Составить блок-схему машины трения.
5. Описать порядок проведения испытаний на износ на машине трения.
6. Проанализировать полученные результаты.
7. Составить отчет.

5.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о назначении, устройстве и принципе работы машины трения.
3. Блок-схема машины трения.
4. Порядок проведения испытаний на износ на машине трения.
5. Выводы.

5.5. Контрольные вопросы

1. Каково назначение машины трения?
2. Перечислите основные части конструкции машины трения и укажите их функциональное назначение.
3. Назовите основные технические характеристики машины трения.
4. В чем состоит принцип работы машины трения?
5. Каков порядок испытаний материалов на износ на машине трения?

Рекомендуемая литература: [1–6]

6. ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОС НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ ИМ-01

Цель работы – определение величины износа испытательных образцов на машине для испытания материалов на трение и износ ИМ-01.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

- порядок проведения испытаний материалов на износ с помощью машины ИМ-01;
- методику определения величины массового износа испытательных образцов.

Студент должен уметь:

- проводить испытания материалов на износ;
- определять величину массового износа испытательных образцов.

Необходимое оборудование и принадлежности:

- машина для испытания материалов на трение и износ ИМ-01;
- набор исходных образцов для проведения испытаний с помощью машины ИМ-01.
- весы аналитические ВЛА-200М;
- абразивный материал;
- промывочная жидкость (ацетон).

6.1. Основные положения

Абразивному изнашиванию подвержены детали и узлы трения большинства машин и оборудования, применяемых в сельском хозяйстве. Отличительным признаком процесса абразивного изнашивания является участие в этом процессе твердых частиц, обладающих различной структурой, формой, размерами, твердостью, прочностью, незначительной адгезией к трущимся поверхностям. Трение в присутствии абразивных частиц характеризуется нестационарными контактами твердых частиц с изнашивающейся поверхностью, широким спектром и высокой концентрацией напряжений, физико-химической активацией поверхностей твердых тел.

По характеру силового воздействия абразива на трущиеся детали различают:

- скольжение детали по монолитному абразиву;
- качение детали по абразиву;
- соударение с частицами абразива;
- соударение детали с монолитным абразивом;
- воздействие потока абразивных частиц на поверхность детали (гидроабразивное и газоабразивное изнашивание);
- скольжение детали в массе абразивных частиц;
- взаимодействие сопряженных деталей в контакте с абразивными частицами.

Каждый вид взаимодействия обуславливает присущее ему напряженно-деформированное состояние, степень активизации и последующее разрушение поверхности детали. Разрушение поверхности может быть результатом одноактного взаимодействия абразива с поверхностью (срезание стружки) или многоактного процесса деформирования поверхности абразивными частицами. С учетом различий в механизмах разрушения поверхностей классификация материалов по их способности сопротивляться абразивному изнашиванию не представляется возможной.

Испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы проводятся с помощью машины ИМ-01. Сущность таких испытаний заключается в том, что при одинаковых условиях производят трение образцов исследуемого и эталонного материалов об абразивные частицы, подаваемые в зону трения и прижимаемые к образцу вращающимся резиновым роликом, измеряют износ образцов испытываемого и эталонного материалов, а износостойкость испытываемого материала оценивают путем сравнения его износа с износом эталонного образца.

6.2. Методические указания

В работе требуется:

- определить относительную износостойкость испытательных образцов;
- определить характер зависимости относительной износостойкости испытательных образцов от твердости.

Определение относительной износостойкости испытательных образцов

Испытания на износ следует проводить с учетом описания принципа работы машины трения, представленного в методических

указаниях к лабораторной работе № 5 «Устройство и принцип работы машины трения ИМ-01», а также в соответствии с Руководством по эксплуатации машины трения ИМ-01 (Приложение 4).

Массовый износ определяется методом взвешивания с помощью аналитических весов. Взвешиванию подлежат эталонные и испытательные образцы с известной исходной массой, подвергнутые изнашиванию на машине трения ИМ-01.

Результаты испытаний на износ следует представить в виде табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на износ

Среднеарифметическое значение потери массы эталонных образцов $\overline{g_э}$	Среднеарифметическое значение потери массы испытательных образцов $\overline{g_u}$	Относительная износостойкость $K_{и}$

Значения $\overline{g_э}$, $\overline{g_{ui}}$ и $K_{и}$ вычисляются по следующим формулам:

$$\overline{g_э} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{эi}}{n},$$

$$\overline{g_u} = \frac{\sum_{i=1}^m g_{ui}}{m},$$

$$K_{и} = \frac{\overline{g_э} \rho_u N_u}{\overline{g_u} \rho_э N_э},$$

где n , m – количество эталонных и испытательных образцов;

$\rho_э$, ρ_u – плотности эталонного и исследуемого материалов, г/см²;

$N_э$, N_u – количество оборотов ролика при испытаниях эталонного и исследуемого материалов.

Определение характера зависимости относительной износостойкости испытательных образцов от твердости

Проводятся испытания на износ образцов различных материалов с определенной твердостью на машине ИМ-01 при нагрузке 4,85 Н в течение 0,5 ч для каждого образца. В качестве эталона используется

сталь 65Г твердостью 40 ± 2 HRC, абразивный материал – корунд фракции 0,2–0,4 мм. На основании полученных значений износа вычисляется относительная износостойкость. Результаты испытаний показаны в табл. 2.

Требуется на основании данных табл. 2 построить график зависимости относительной износостойкости испытательных образцов от твердости и описать характер этой зависимости.

Таблица 2

Результаты испытаний на износ стали и твердых сплавов

Материал образца	Твердость HRC	Массовый износ, г	Относительная износостойкость K_n
Сталь 65Г	38–41	0,0212	1,00
Сталь 30ХГСА	47–51	0,0198	1,07
Сталь 50ХФА	49–53	0,0194	1,09
Твердый сплав ПГ-C27	49–53	0,0082	2,59
Твердый сплав ПГ-ФБХ-6-2	62–67	0,0068	3,12
Твердый сплав ПГ-ФБЮ-1-4	54–61	0,0064	3,31

6.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Определить относительную износостойкость испытательных образцов.
4. Определить характер зависимости относительной износостойкости испытательных образцов от твердости.
5. Проанализировать полученные результаты.
6. Составить отчет.

6.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общая характеристика абразивного изнашивания.
3. Описание процедуры и результатов определения относительной износостойкости испытательных образцов.

4. Описание процедуры и результатов определения характера зависимости относительной износостойкости испытательных образцов от твердости.

5. Выводы.

6.5. Контрольные вопросы

1. Каковы особенности абразивного изнашивания?

2. Назовите виды силового воздействия абразива на трущиеся детали.

3. В чем состоит методика определения относительной износостойкости испытательных образцов?

4. Какова взаимосвязь между относительной износостойкостью и твердостью испытательных образцов различных материалов?

Рекомендуемая литература: [1–6]

7. ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ

Цель работы – изучение устройства и принципа работы профилометра-профилографа TIME 3220; изучение изменения шероховатости поверхности в процессе трения; определение величины равновесной шероховатости.

Работа рассчитана на два академических часа.

Студент должен знать:

- устройство и принцип работы профилометра-профилографа TIME 3220;
- порядок проведения профилометрических измерений с помощью профилометра-профилографа TIME 3220;
- закономерности изменения шероховатости поверхности в процессе трения;
- закономерности формирования равновесной шероховатости.

Студент должен уметь:

- составлять блок-схему профилометра-профилографа TIME 3220;
- проводить профилометрические измерения с помощью профилометра-профилографа TIME 3220;
- строить график изменения шероховатости поверхности в процессе трения и определять на основе его анализа время установления и численные значения параметров равновесной шероховатости.

Необходимое оборудование и принадлежности:

- профилометр-профилограф TIME 3220;
- набор образцов поверхностей трения для измерения параметров шероховатости.

7.1. Основные сведения

Параметры шероховатости

Качество поверхности деталей машин в значительной мере определяется геометрическими характеристиками поверхности: макрорасклонением, волнистостью и шероховатостью.

Макроотклонение поверхности (отклонение формы) представляет собой отклонение поверхности от заданной правильной геометрической формы на протяженном участке (овальность, конусность, бочкообразность и т. п.).

Волнистость поверхности представляет собой совокупность периодических, регулярно повторяющихся, близких по размерам выступов и впадин, расстояние между которыми значительно больше, чем у неровностей, образующих шероховатость поверхности. Расстояние между вершинами волн (шаг волн) обычно находится в пределах 0,8... 10 мм, а их высота – в пределах 0,03...500 мкм. Форма волн близка к синусоидальной.

Под шероховатостью (микрogeометрией) поверхности понимается совокупность микронеровностей с относительно малым шагом. Шаг микронеровностей обычно находится в пределах 2...800 мкм, а их высота – в пределах 0,01...400 мкм.

Количественно шероховатость поверхности оценивается с помощью различных параметров.

Параметры шероховатости поверхности можно измерять непосредственно, а также на основе анализа профилограммы поверхности – графического изображения микронеровностей поверхности (профиля поверхности).

Типичная профилограмма показана на рис. 1.

Профиль поверхности образуется в сечении поверхности плоскостью, перпендикулярной к номинальной поверхности (рис. 2). При определении параметров шероховатости профиль рассматривается в пределах базовой длины l , величина которой выбирается в установленном порядке в зависимости от размеров микронеровностей.

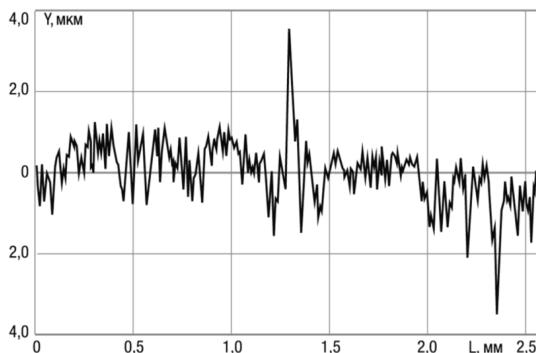


Рис. 1. Профилограмма рабочей поверхности коренного подшипника, снятого с двигателя после обкатки

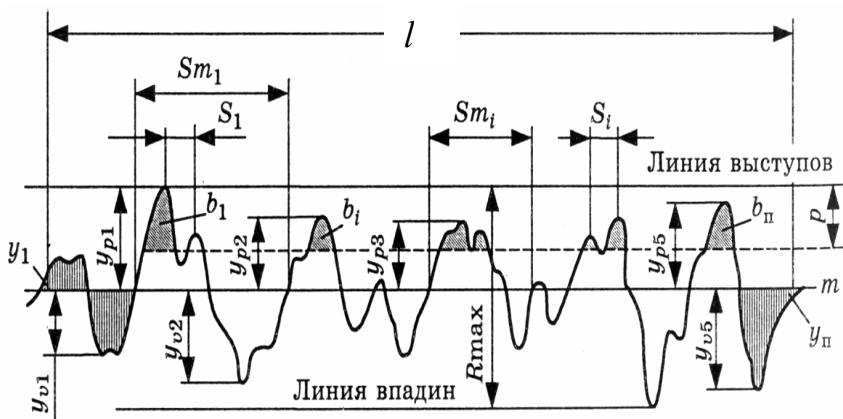


Рис. 2. Параметры профилограммы поверхности для определения шероховатости

Базовая длина – это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности. В свою очередь, базовая линия – это линия, определенным образом проведенная относительно профиля поверхности и служащая для оценки геометрических параметров шероховатости. Базовую длину выбирают таким образом, чтобы, с одной стороны, на ней не проявлялись другие виды неровностей (волнистость и макроотклонения), с другой – чтобы число микронеровностей было достаточным для статистической обработки результатов измерений.

Для количественной оценки шероховатости поверхности используются следующие параметры (рис. 2):

– среднее арифметическое отклонение профиля R_a – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля y_i от средней линии профиля в пределах базовой длины

$$R_a = n^{-1} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1)$$

где n – число выбранных точек профиля на базовой длине;

– высота неровностей профиля по десяти точкам R_z – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля h_{pi} и глубин пяти наибольших впадин профиля h_{vi} в пределах базовой длины

$$R_z = 1/5 \left(\sum_{i=1}^5 |h_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |h_{vi}| \right); \quad (2)$$

– наибольшая высота неровностей профиля R_{max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины

$$R_{max} = R_p - R_v; \quad (3)$$

– средний шаг неровностей Sm – среднее значение шагов неровностей профиля в пределах базовой длины

$$Sm = n^{-1} \sum_{i=1}^n Sm_i, \quad (4)$$

где n – число шагов неровностей в пределах базовой длины;

Sm_i – шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии профиля, ограничивающей неровность профиля;

– средний шаг местных выступов профиля S – среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины

$$S = n^{-1} \sum_{i=1}^n S_i; \quad (5)$$

– относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине

$$t_p = \eta / (l \cdot 100), \quad (6)$$

где $\eta = \sum_{i=1}^n b_i$ – опорная длина профиля;

b_i – длина отрезков в пределах базовой линии, отсекаемых на заданном уровне p профиля линией, параллельной средней линии (числовые значения p указываются в % от R_{max}); l – базовая длина.

Типичные диапазоны колебаний параметров шероховатости: l – от 0,01 до 25 мм; R_a – от 0,008 до 100 мкм; R_z и R_{max} – от 0,25 до 1600 мкм; Sm и S – от 0,002 до 12,5 мкм, t_p – от 10 до 90 %.

Для оценки шероховатости чаще всего используется параметр R_a (он более точно определяет шероховатость). Также довольно часто используется параметр R_z . Показатели высоты профиля для разных видов обработки связаны между собой определенными соотношениями. Так, для отделочно-упрочняющей обработки $R_{max} \approx 5,0 R_a$; $R_z \approx 4,0 R_a$; для точения, строгания и фрезерования $R_{max} \approx 6,0 R_a$; $R_z \approx 5,0 R_a$.

Способы определения шероховатости

Параметры шероховатости поверхности можно определять как профилометрическим, так и профилографическим способами. В первом случае измеряется непосредственно численное значение параметра шероховатости, которое отображается на измерительном приборе профилометра, во втором – сначала получается графическое изображение микронеровностей поверхности, т. е. профиль поверхности, или профилограмма, которая строится на ленте записывающего прибора профилографа, а затем на основе анализа профилограммы определяется численное значение параметра шероховатости.

Для измерения шероховатости используется контактный (щуповой) метод. Согласно этому методу остро заточенная игла, контактирующая с исследуемой поверхностью, приводится в поступательное перемещение по определенной трассе относительно поверхности (рис. 3). Ось иглы располагают по нормали к поверхности, опускаясь во впадины и поднимаясь на выступы поверхности во время движения, игла колеблется, повторяя по величине и форме огибаемый профиль поверхности.

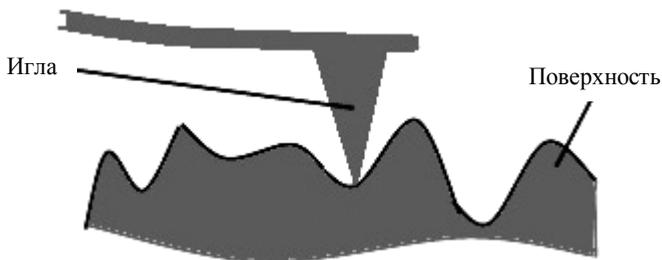


Рис. 3. Схема измерения шероховатости поверхности контактным методом

Колебания иглы преобразуются в подобные им электрические колебания при помощи электромеханического преобразователя. Снятый с преобразователя сигнал после соответствующей обработки поступает на измерительный прибор, где отображается в виде численного значения параметра шероховатости либо записывается в виде графического изображения микронеровностей – профилограммы.

Соответственно, контактные приборы, предназначенные для измерения шероховатости поверхности, в первом случае называются профилометрами, а во втором – профилографами. Комбинированные приборы, которые позволяют осуществлять и профилометрические, и профилографические измерения, называются профилометрами-профилографами.

Устройство и принцип работы профилометра-профилографа TIME 3220

Профилометр-профилограф TIME 3220 представляет собой портативный прибор (производство компании Time Group), предназначенный для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей.

Принцип действия прибора заключается в следующем. На поверхности детали располагают датчик и проводят им по поверхности с постоянной скоростью. Датчик воспринимает неровности поверхности острым пером. Неровности поверхности вызывают смещения в датчике, в результате чего изменяется индуктивность катушки, которая генерирует аналоговый сигнал, пропорциональный размеру неровностей. Сигнал поступает на фазочувствительный выпрямитель. После усиления и преобразования этого сигнала данные поступают в систему сбора данных. Собранные данные подвергаются цифровой фильтрации и обработке. На основании этих данных производится расчет параметров шероховатости. Результаты измерения можно считать на жидкокристаллическом дисплее, распечатать на принтере и передать на персональный компьютер.

Внешний вид прибора показан на рис. 4.

Прибор состоит из следующих основных частей:

- измерительный блок (датчик), включающий иглу и привод иглы;
- электронный блок, содержащий панель управления и сенсорный экран;

– принтер (прибор работает только с принтером типа TA230, выпускаемым компанией Time Group).



Рис. 4. Внешний вид профилометра-профилографа TIME 3220

Изменения шероховатости поверхности в процессе трения

Исходная шероховатость детали является следствием технологической обработки поверхности, например, обработки точением или шлифованием. В процессе трения в результате изнашивания исходная шероховатость изменяется. В общем случае изменение шероховатости в процессе трения происходит неравномерно, что свидетельствует о неравномерном изменении интенсивности изнашивания I_h , которое обычно описывается кривой В. Ф. Лоренца (рис. 5).

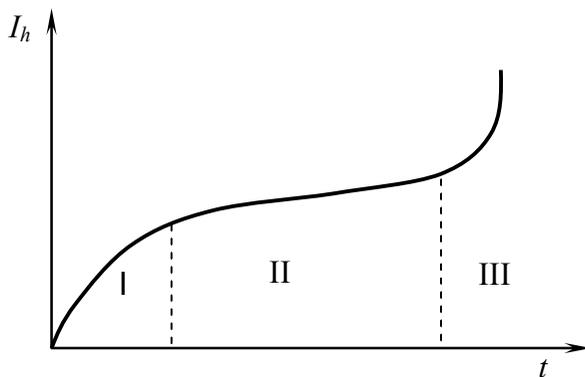


Рис. 5. Влияние длительности t эксплуатации на интенсивность изнашивания I_h деталей машин (кривая Лоренца)

На кривой Лоренца выделяются три периода (участка): I – период приработки; II – период установившегося изнашивания; III – период катастрофического изнашивания.

Период приработки (I) характеризуется повышенным тепловыделением, изменением микрогеометрии поверхностей трения и интенсивным отделением с них продуктов износа. Это неравномерная стадия изнашивания твердых тел, она характеризуется переменной интенсивностью изнашивания. Со временем интенсивность изнашивания снижается, приближаясь к некоторой постоянной величине. В этот период, наряду с микрогеометрией поверхностей трения сопрягаемых тел, изменяются структура и свойства приповерхностных слоев.

Экспериментально установлено, что в разных условиях и разных парах трения после приработки устанавливается одинаковая, равновесная шероховатость. Эта новая равновесная шероховатость поверхностей трения после приработки практически не зависит от исходной шероховатости, а в основном определяется условиями трения, структурой и свойствами трущихся тел.

Период установившегося изнашивания (II) характеризуется постоянной интенсивностью изнашивания. Он продолжается до тех пор, пока изменения размеров и формы деталей не повлияют на условия их работы или до наступления предела усталости материала. В этот период происходит непрерывное восстановление деформируемых или разрушаемых участков поверхности трения. Микрогеометрия и свойства ранее существовавших и вновь создаваемых поверхностей трения существенно не различаются.

Период интенсивного (катастрофического) изнашивания (III) – это период, в котором на износостойкие отказы накладываются коррозионные, усталостные процессы и процессы старения материала. Это приводит к предаварийному (аварийному) состоянию трибосопрежений.

Постепенное изнашивание сопрягаемых поверхностей сопровождается ростом зазоров, ухудшением условий смазки и усилением динамических нагрузок. Это вызывает неравномерный износ по поверхности трения. Появляются макрогеометрические отклонения (овальность, конусность, волнистость и др.). При дальнейшем нагружении эти отклонения становятся причиной повышения интенсивности изнашивания. Часто этот период заканчивается катастрофическим изнашиванием и объемным разрушением деталей узла трения.

Особенности формирования равновесной шероховатости

Шероховатость поверхности детали существенно влияет на трение и износ. При чрезмерно большой шероховатости поверхностей в процессе их взаимного перемещения происходит срез, отламывание и пластический сдвиг неровностей, что приводит к интенсивному начальному изнашиванию трущихся деталей. При чрезмерно малой шероховатости износ также возрастает, что объясняется повышением молекулярного сцепления, взаимным схватыванием металлов соприкасающихся поверхностей, сопровождающееся локальным вырыванием частиц. Оптимальная шероховатость поверхности достигается в результате приработки деталей узлов трения.

Особая роль шероховатости в процессах трения состоит в том, что впадины микрорельефа играют роль карманов, в которых удерживается смазочное масло. Поверхность с большими по высоте микронеровностями, т. е. с большими масляными карманами, удерживает достаточное количество масла, но ее способность воспринимать нагрузки незначительна, поскольку с сопрягаемой поверхностью в паре трения контактирует небольшое число выступов, в результате чего повышаются удельные давления, что приводит к интенсивному изнашиванию. Если же высота микронеровностей мала, то, наоборот, несущая способность поверхности велика, однако масло удерживается в небольшом количестве, поскольку масляные карманы малы, что также вызывает интенсивное изнашивание.

Под приработкой понимается процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств приповерхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания.

При трении в начале приработки участвует очень небольшое количество контактирующих между собой выступов, вследствие чего истинные напряжения на образовавшихся площадках могут быть велики, поэтому происходит интенсивное разрушение неровностей, полученных при механической обработке, их дробление и пластическое деформирование, сопровождаемое наклепом поверхностного слоя.

В результате приработки происходит сглаживание наиболее выступающих неровностей, частичное или полное уничтожение первоначальных и установление новых неровностей, отличных от первоначальных по форме и размерам.

При граничном трении поверхностей с относительно высокими неровностями из-за разрыва масляной плёнки возникает металлический контакт по выступам поверхностей. Интенсивное деформирование и смятие вершин отдельных выступов происходит до тех пор, пока трущиеся поверхности не приработаются, т. е. пока неровности этих поверхностей не примут более устойчивые форму и размеры. В результате приработки выступы приобретают оптимальную кривизну, обеспечивающую наибольшую устойчивость масляной пленки.

Под оптимальной, равновесной эксплуатационной шероховатостью понимается воспроизводимая в стационарных условиях шероховатость, которой соответствует наименьшая интенсивность изнашивания. Таким образом, определение «равновесная» шероховатость следует понимать как шероховатость, устанавливающаяся на фрикционном контакте при неизменном режиме трения после завершения процесса приработки.

Необходимо отметить, что под равновесной шероховатостью понимается установившееся постоянство значений параметров шероховатости R_a и R_z , которые остаются неизменными в процессе трения, в то время как форма микрорельефа при контакте трущихся поверхностей не может быть неизменной, она непрерывно изменяется.

Важная закономерность приработки – независимость равновесной шероховатости от исходной шероховатости. Экспериментально подтверждено, что по окончании приработки устанавливается шероховатость, не зависящая от величины и характера первоначальной шероховатости, полученной при механической обработке, а зависящая от условий изнашивания. Эта шероховатость является оптимальной для данных условий трения и обеспечивает минимальное изнашивание, она может быть как больше, так и меньше исходной. В период стационарного изнашивания, протекающего после приработки, эта шероховатость воспроизводится в течение всего последующего процесса нормальной работы трущегося сопряжения.

На рис. 6 показан график изменения параметра шероховатости R_z во времени при приработке, из которого видно, что при выбранных условиях работы любая шероховатость приходит к равновесной шероховатости.

Явление формирования равновесной шероховатости было обнаружено в середине XX в. российским ученым И. В. Крагельским. Он

установил, что независимо от исходной шероховатости трущихся поверхностей их микрорельеф приобретает установившееся состояние. Шероховатость получила название «равновесной», поскольку в конце периода приработки поверхности параметры R_a и R_z остаются неизменными в процессе трения. Механизм формирования равновесной шероховатости, по И. В. Крагельскому, заключается в следующем (рис. 6).

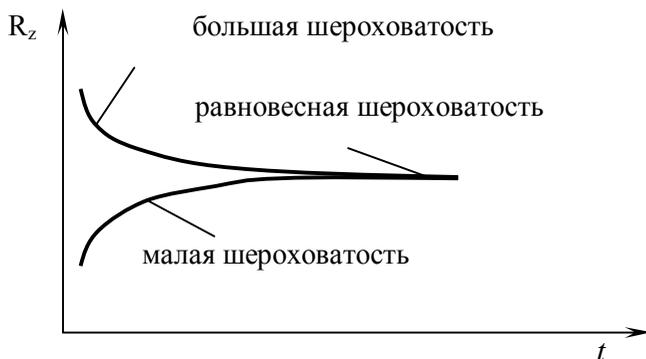


Рис. 6. Влияние длительности эксплуатации на установление равновесной шероховатости

Для очень гладких поверхностей в процессе трения важное место отводится адгезионному взаимодействию между выступами трущихся тел. Молекулярное схватывание и вырыв части микровыступов приводят к образованию еще более высоких выступов. В результате влияние адгезионных сил уменьшается, начинают играть решающую роль деформационные процессы, при этом высокие выступы в процессе трения деформируются и срезаются. Таким образом, путем попеременного вступления в действие адгезионных и деформационных процессов достигается некоторая равновесная шероховатость, характеризующаяся реализацией минимума сил трения и интенсивности изнашивания.

Итак, с точки зрения износа шероховатость поверхности не зависит от первоначальной шероховатости, полученной при механической обработке. При этом шероховатость поверхности, образованная при трении, не может быть точно воспроизведена при механической обработке.

7.2. Методические указания

В работе требуется:

- составить блок-схему профилометра-профилографа TIME 3220;
- описать порядок проведения профилометрических измерений с помощью профилометра-профилографа TIME 3220;
- измерить параметры шероховатости образцов поверхностей, полученных при разных условиях трения, с помощью профилометра-профилографа TIME 3220;
- на основе известных значений параметров шероховатости поверхностей, соответствующих разным по длительности стадиям процесса трения, построить кривую изменения шероховатости во времени и определить время установления и параметры равновесной шероховатости.

Составление блок-схемы

При составлении блок-схемы профилометра-профилографа следует руководствоваться требованиями к составлению блок-схем, изложенными в методических указаниях к лабораторной работе № 1 «Устройство и принцип работы машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СТМ-1».

Для того чтобы составить блок-схему профилометра-профилографа TIME 3220, следует ознакомиться с его конструкцией, описанной в разделе «Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации профилометра-профилографа TIME 3220 (Приложение 5).

Описание порядка измерений

Для того чтобы описать порядок проведения профилометрических измерений, следует предварительно ознакомиться с описанием принципа работы профилометра-профилографа, представленным в разделе «Основные положения», а также с Руководством по эксплуатации профилометра-профилографа TIME 3220 (Приложение 5), затем изучить вместе с преподавателем принцип работы профилометра-профилографа TIME 3220, имеющегося в лаборатории, а также порядок проведения измерений с его помощью при его работе по схеме профилометра.

Описываемый порядок измерений следует представить в виде табл. 2, в которой указываются процедуры измерений в последовательности их выполнения. Заполнение табл. 3 следует проводить с учетом перечня процедур измерений, представленных в произвольной последовательности в табл. 4.

Порядок профилометрических измерений

Номер строки	Процедуры измерений
...	

Измерение параметров шероховатости

Параметры шероховатости следует измерять на образцах поверхностей, полученных при разных условиях трения, которые предоставляются преподавателем. Измерения проводятся с помощью профилометра-профилографа TIME 3220, работающего по схеме профилометра. Результаты измерений следует представить в виде табл. 5, в которой указываются характеристики образца поверхности (материал, условия трения), численные значения параметров шероховатости R_a и R_z , а также приблизительные соотношения между этими параметрами (в виде выражения $R_z \approx \dots R_a$).

Построение и анализ кривой изменения шероховатости во времени

Кривая изменения шероховатости во времени строится на основе предоставляемых преподавателем численных значений параметров шероховатости поверхностей R_a или R_z , соответствующих разным по длительности t стадиям процесса трения. На основе анализа построенной кривой следует определить время установления равновесной шероховатости и численные значения параметров равновесной шероховатости R_a или R_z .

Таблица 4

Процедуры профилометрических измерений (представлены в произвольной последовательности)

Условное обозначение процедуры измерений	Процедуры измерений
А	Расположить прибор на измеряемой поверхности
Б	Включить прибор
В	Расположить образец измеряемой поверхности на рабочем столе
Г	Очистить образец измеряемой поверхности
Д	Установить требуемые режимы работы прибора
Е	Перевести прибор в режим измерений

1	2
Ж	Подвести датчик к измеряемой поверхности
З	Выключить прибор
И	Сохранить полученные результаты измерений в базе данных прибора
К	Просмотреть полученные результаты измерений на дисплее прибора

7.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Изучить устройство и принцип работы профилометра-профилографа.
4. Составить блок-схему профилометра-профилографа.
5. Описать порядок проведения профилометрических измерений.
6. Измерить параметры шероховатости образцов поверхностей трения.
7. Построить и проанализировать кривую изменения шероховатости поверхности трения во времени
8. Проанализировать полученные результаты.
9. Составить отчет.

7.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о назначении, устройстве и принципе работы профилометра-профилографа.
3. Блок-схема профилометра-профилографа.
4. Порядок проведения профилометрических измерений.
5. Выводы.

7.5. Контрольные вопросы

1. Укажите виды геометрических характеристик поверхности.
2. Что такое профилограмма поверхности?
3. Какие параметры используются для количественной оценки шероховатости поверхности?

4. Перечислите основные части конструкции профилометра-профилографа и укажите их функциональное назначение.
5. Каков принцип работы профилометра-профилографа?
6. Назовите периоды изменения шероховатость поверхности в процессе трения, согласно кривой В. Ф. Лоренца.
7. Каковы особенности изменения геометрии поверхности в процессе трения на этапе приработки?
8. Что такое равновесная шероховатость?

Рекомендуемая литература: [1–6]

8. ПОСТРОЕНИЕ ОПОРНОЙ КРИВОЙ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Цель работы – построение опорной кривой профиля шероховатой поверхности детали на основе обработки профилограммы.

Студент должен знать:

- методики определения параметров шероховатости по профилограмме поверхности детали;
- методику построения опорной кривой профиля шероховатой поверхности детали на основе обработки профилограммы.

Студент должен уметь:

- определять параметры шероховатости по профилограмме поверхности детали;
- строить опорную кривую профиля шероховатой поверхности детали на основе обработки профилограммы.

8.1. Основные сведения

Определение параметров шероховатости по профилограмме

Необходимым условием осуществления процесса трения двух твердых тел является соприкосновение их поверхностей или взаимодействие этих тел через смазочный материал. Характер явлений, происходящих при контакте поверхностей, определяется механическими и физико-химическими свойствами этих поверхностей, а также их микрогеометрией. Поэтому на процессы взаимодействия твердых тел существенное влияние оказывают не только свойства поверхностных слоев деталей, сильно отличающиеся от объемных свойств материала, но и геометрическое очертание поверхности, ее неровности, размеры и распределение материала в шероховатом поверхностном слое, которые сильно зависят от характера обработки детали.

Шероховатость определяют по профилограммам в пределах некоторой базовой длины l (рис. 1). Базовую длину выбирают таким образом, чтобы, с одной стороны, на ней не проявлялись другие виды неровностей (волнистость и макроотклонения), а, с другой – чтобы число микронеровностей было достаточным для статистической обработки результатов измерений.

Отсчет высот неровностей производят от некоторой средней линии m_1m_2 . Среднюю линию на профилограмме проводят таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений от нее точек профиля, расположенных выше и ниже средней линии, была минимальной. Фактически суммарная площадь выступов, расположенных выше средней линии, будет равна в этом случае суммарной площади впадин, расположенных ниже средней линии.

На практике при графической обработке профилограммы в качестве средней линии профиля приближенно принимается линия, проходящая вдоль профилограммы и делящая пополам расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Через вершину наиболее высокого выступа и наиболее глубокой впадины проводят линию выступов и линию впадин параллельно средней линии.

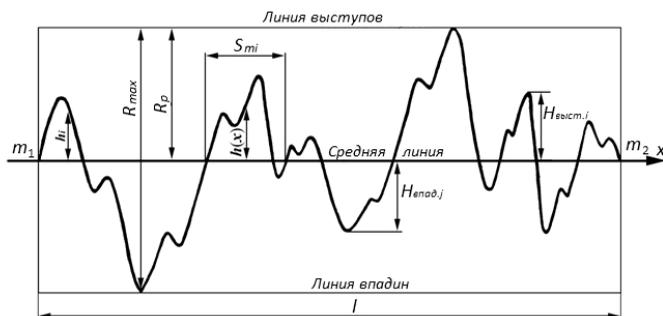


Рис. 1. Профилограмма шероховатой поверхности

Для получения профиля поверхности снимают профилограммы с участка поверхности определенной базовой длины l , выбираемой в зависимости от размеров микронеровностей. По размерам микронеровностей все поверхности подразделяются на 14 классов шероховатости, причем в каждом классе шероховатости поверхности существует своя базовая длина (табл.1).

Таблица 1

Классы шероховатости поверхности

Класс шероховатости	R_z , мкм	R_{max} , мкм	Базовая длина l , мм
1	80	320	8
2	40	160	8

Класс шероховатости	R_z , мкм	R_{max} , мкм	Базовая длина l , мм
3	20	80	11
4	10	40	2,5
5	5	20	2,5
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	0,8
8	0,63	3,2	0,8
9	0,32	1,6	0,25
10	0,16	0,8	0,25
11	0,80	0,4	0,25
12	0,04	0,2	0,25
13	0,02	0,1	0,08
14	0,01	0,05	0,08

Наиболее часто применяемый параметр шероховатости R_z – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля h_{pi} и глубин пяти наибольших впадин профиля h_{vi} в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right). \quad (1)$$

Для того чтобы определить параметр R_z по формуле (1), следует предварительно измерить на профилограмме значения высот пяти наибольших выступов профиля y_{pi} и глубин пяти наибольших впадин профиля y_{vi} в пределах базовой длины l (рис. 2).

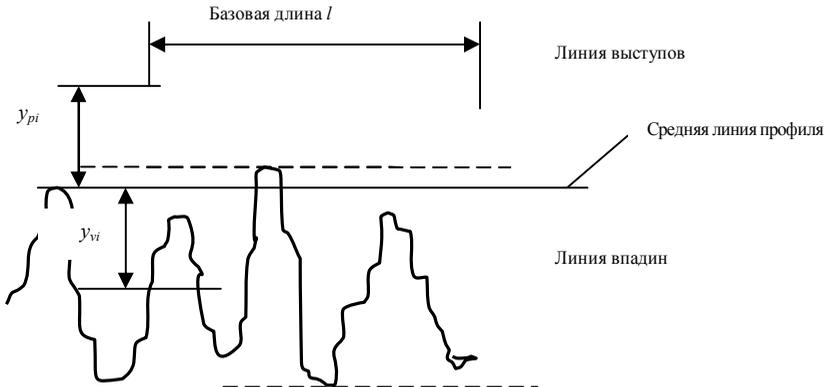


Рис. 2. Профиль поверхности: пояснения к определению параметра R_z по формуле (1); y_i – отклонение профиля (общее обозначение); y_{pi} – высота выступа; y_{vi} – глубина впадины

Для определения параметра R_z также можно использовать формулу

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |h_{pi}| - \sum_{i=1}^5 |h_{vi}| \right), \quad (2)$$

где h_{pi} и h_{vi} – расстояния от пяти наибольших выступов и пяти наибольших впадин до вспомогательной линии АБ, которая проводится под профилограммой параллельно общему направлению профилограммы (рис. 3).

Нетрудно убедиться в том, что формула (2) является видоизмененным вариантом формулы (1). Действительно, как следует из рис. 3, справедливо выражение $h_{pi} - h_{vi} = y_{pi} + y_{vi}$. Используя это выражение, можно преобразовать формулу (2) так, что в результате получится формула (1).

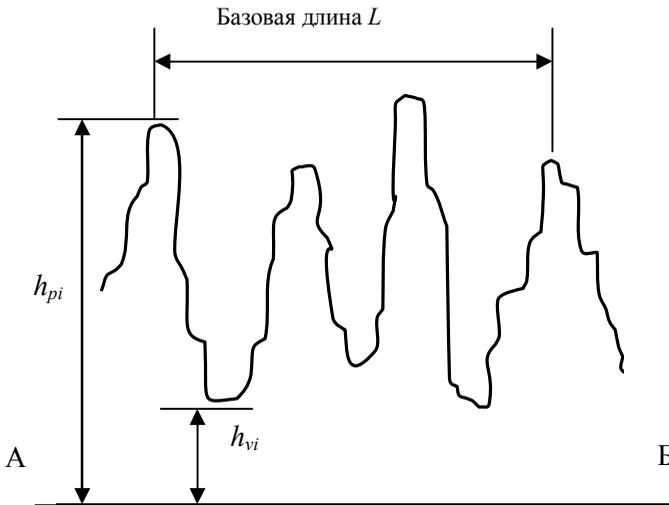


Рис. 3. Профиль поверхности: пояснения к определению параметра R_z по формуле (2): h_i – расстояние от отклонения профиля до линии АБ (общее обозначение); h_{pi} – расстояние от выступа до линии АБ, h_{vi} – расстояние от впадины до линии АБ

Построение опорной кривой профиля шероховатой поверхности

Опорная кривая профиля шероховатой поверхности характеризует распределение материала по высоте шероховатого слоя. С ее помощью проводится оценка несущей способности шероховатости.

По расположению опорных кривых и по значению их параметров проводят сравнение несущей способности шероховатостей, обработанных различными методами.

Для построения опорной кривой используют профилограмму поверхности (рис. 4).

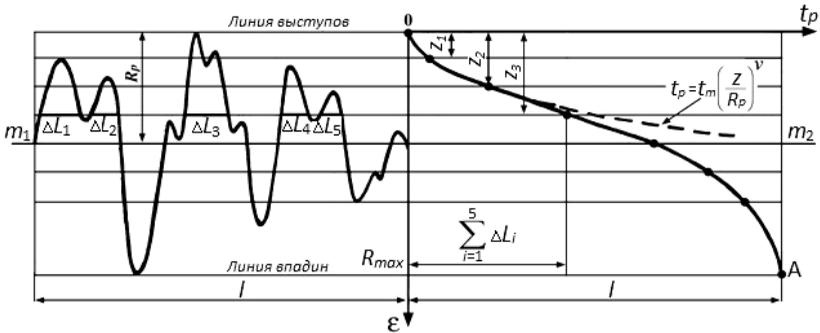


Рис. 4. Схема построения опорной кривой профиля шероховатой поверхности

Методика построения опорной кривой состоит в следующем. Если взять сечение профиля на некотором расстоянии Z_j от линии выступов и найти сумму длин отрезков, отсекаемых на уровне Z_j в материале выступов, то можно определить зависимость относительной опорной длины t_p от высоты профиля ε (в относительных величинах), т. е.

$$t_p = \varepsilon, \quad (3)$$

где

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^m \Delta L_i, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{Z}{R_{\max}}. \quad (5)$$

Для этого профилограмму разбивают на ряд горизонтальных уровней Z_j (рис. 4), параллельных средней линии m_1 m_2 , а затем суммируют участки, ограничивающие ширину выступов ΔL_i на рассматриваемом уровне. Далее вычисляют значения t_p в зависи-

мости от значений ϵ для каждого уровня Z_j и полученные точки соединяют плавной кривой. Опорная кривая профиля t_p – это графическое изображение зависимости опорной длины профиля от уровня сечения профиля Z_j .

Так как опорная кривая строится для произвольного профиля поверхности, то функция $t_p(\epsilon)$ численно совпадает с функцией распределения материала по высоте шероховатого слоя, т. е. она характеризует топографию поверхности.

Вид кривой распределения материала не зависит от высоты неровностей, а определяется их формой и распределением вершин по высоте, поэтому форма кривой и вид функции распределения материала меняются в довольно широких пределах.

Опорная кривая профиля играет важную роль при расчетах контактных характеристик шероховатых поверхностей, она позволяет сравнивать профили разных поверхностей (рис. 5).

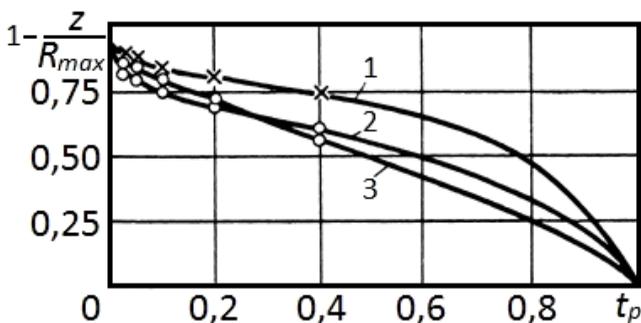


Рис. 5. Опорные кривые профилей шероховатых поверхностей, полученных после: 1 – полирования; 2 – шлифования; 3 – точения

8.2. Методические указания

В работе требуется:

- определить шероховатость поверхности по параметру R_z на основе анализа профилограммы;
- построить опорную кривую профиля шероховатой поверхности на основе обработки профилограммы.

Определение шероховатости следует проводить с учетом описания принципа работы профилометра-профилографа, представлен-

ного в методических указаниях к лабораторной работе № 7 «Изучение изменения шероховатости поверхности в процессе трения», а также в соответствии с Руководством по эксплуатации профилометра-профилографа TIME 3220 (Приложение 5).

Определение шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности определяется по профилограммам, предоставляемым преподавателем, согласно вышеописанной соответствующей методике.

Ниже представлены примеры определения параметра R_z с использованием формул (1) и (2).

Пример 1.

Определение параметра R_z с использованием формулы (1).

Анализируемая профилограмма представлена на рис. 4. Профилограмма записана на профилографе с вертикальным увеличением $V_b = 2000$ и горизонтальным увеличением $V_r = 100$. Для обработки профилограммы задано значение базовой длины $L = 2,5$ мм.

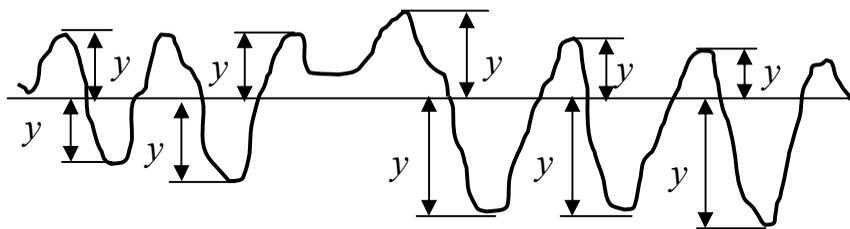


Рис. 4. Профилограмма (пример 1)

Параметр R_z определяется в следующей последовательности:

1. Определить длину базового участка по формуле $L_b = L \cdot V_r$:
 $L_b = 2,5 \cdot 100 = 250$ мм.
2. Выделить длину базового участка на профилограмме.
3. Провести приближенно среднюю линию на профилограмме.
4. Отмерить от средней линии значения высот пяти наибольших выступов профиля y_{pi} и глубин пяти наибольших впадин профиля y_{vi} в пределах длины базового участка, результаты измерений занести в табл. 2.

Измеренные значения y_i , мм									
y_{pi}					y_{vi}				
23	17	13	19	15	18	20	25	26	30

5. Вычислить значение параметра R_z по формуле (1) с учетом вертикального увеличения V_b :

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot V_b} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right)$$

$$R_z = \frac{(23+17+13+19+15)+(18+20+25+26+30)}{5 \cdot 2000} = 0,0216 \text{ мм} = 21,6 \text{ мкм.}$$

Пример 2.

Определение параметра R_z с использованием формулы (2).

Анализируемая профилограмма представлена на рис. 5. Профилограмма записана на профилографе с вертикальным увеличением $V_b = 2000$ и горизонтальным увеличением $V_r = 80$. Для обработки профилограммы задано значение базовой длины $L = 2,5$ мм.

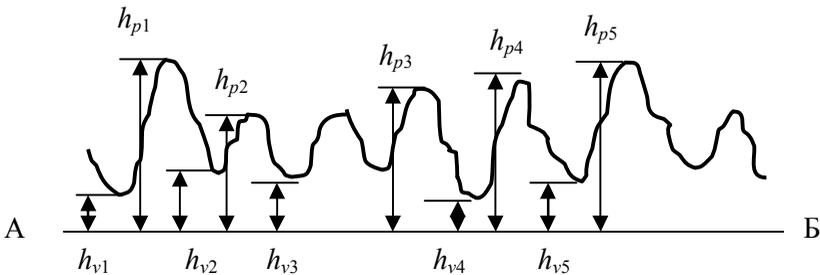


Рис. 5. Профилограмма (пример 2)

Параметр R_z определяется в следующей последовательности:

1. Определить длину базового участка по формуле

$$L_b = L \cdot V_r :$$

$$L_b = 2,5 \cdot 80 = 200 \text{ мм.}$$

2. Провести параллельно общему направлению профилограммы прямую линию АВ в пределах длины базового участка.

3. Измерить расстояние от линии АВ до пяти наибольших выступов h_{pi} и пяти наибольших впадин h_{vi} в пределах длины базового участка, результаты измерений занести в табл. 3:

Измеренные значения h_{pi} и h_{vi} , мм									
h_{pi}					h_{vi}				
56	40	42	49	53	11	12	10	8	16

5. Вычислить значение параметра R_z по формуле (1) с учетом вертикального увеличения V_B :

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot V_B} \left(\sum_{i=1}^5 |h_{pi}| - \sum_{i=1}^5 |h_{vi}| \right)$$

$$R_z = \frac{(56+40+42+49+53) - (11+12+10+8+16)}{5 \cdot 2000} = 0,0193 \text{ мм} = 19,3 \text{ мкм.}$$

Построение опорной кривой профиля шероховатой поверхности

Опорная кривая профиля строится по профилограммам, предоставляемым преподавателем, согласно вышеописанной соответствующей методике.

8.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать полученное задание.
2. Изучить основные положения работы.
3. Определить шероховатость поверхности по параметру R_z двумя разными методами.
4. Построить опорную кривую профиля.
5. Проанализировать полученные результаты.
6. Составить отчет.

8.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о шероховатости и ее определении по параметру R_z .
3. Описание процедур графической обработки профилограммы и вычисления параметра R_z .
4. График опорной кривой профиля.
5. Выводы.

8.5. Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности геометрических характеристик поверхности.
2. Как влияет шероховатость поверхности детали на трение и ее износ.
3. Чем различаются профилометрический и профилографический способы определения шероховатости поверхности?
4. Какие варианты графической обработки профилограммы могут использоваться для определения параметра R_z ?

Рекомендуемая литература: [1–6]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лужнов, Ю. М. Основы триботехники : учебное пособие / Ю. М. Лужнов, В. Д. Александров; под ред. Ю. М. Лужнова. – М. : МАДИ, 2013. – 136 с.
2. Пенкин, Н. С. Основы трибологии и триботехники : учебное пособие / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин. – М. : Машиностроение, 2008. – 206 с.
3. Вагнер, В. Ф. Основы триботехники. Процессы в трибомеханических системах: учебное пособие / В. Ф. Вагнер, Б. И. Ковальский, В. Ф. Терентьев. – Часть I. – Красноярск : КГТУ, 1998. – 212 с.
4. Современная трибология. Итоги и перспективы / Отв. ред. К. В. Фролов. – М. : Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.
5. Трибология. Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ / Под ред. В. А. Белого, К. Лудемы, Н. К. Мышкина. – М. : Машиностроение; Нью-Йорк : Аллертон пресс, 1993. – 454 с.
6. Гаркунов, Д. Н. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин / Д. Н. Гаркунов, П. И. Корник. – М. : Изд-во МСХА, 2003. – 344 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ: ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ
И ОПРЕДЕЛЕНИЯ***

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ	
1. Внешнее трение Трение External friction Friction	Явление сопротивления относительно перемещению, возникающее между двумя телами в зонах касания поверхностей по касательным к ним
2. Изнашивание Wear process	Процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела
3. Износ Wear	Результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. <i>Примечание.</i> Значение износа может выражаться в единицах длины, объема, массы и др.
4. Износостойкость Wear resistance	Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания
5. Смазочный материал Lubricant	Материал, вводимый на поверхность трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания
6. Смазка Lubrication (type of)	Действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшаются износ, повреждения поверхности и (или) сила трения
7. Смазывание Lubrication (method of)	Подведение смазочного материала к поверхности трения

ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ	
8. Трение покоя Static friction	Трение двух тел при микросмещениях без макросмещения
9. Трение движения Dynamic friction	Трение двух тел, находящихся в движении относительно друг друга
10. Трение без смазочного материала Unlubricated friction	Трение двух тел при отсутствии на поверхности трения введенного смазочного материала любого вида
11. Трение со смазочным материалом Lubricated friction	Трение двух тел при наличии на поверхности трения введенного смазочного материала любого вида
12. Трение скольжения Sliding friction	Трение движения, при котором скорости тел в точке касания различны по значению и (или) направлению
13. Трение качения Rolling friction	Трение движения, при котором скорости соприкасающихся тел одинаковы по значению и направлению, по крайней мере в одной точке зоны контакта
14. Трение качения с проскальзыванием Combined rolling and sliding friction	Трение движения двух соприкасающихся тел при одновременном трении качения и скольжения в зоне контакта
15. Сила трения Friction force	Сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, тангенциально направленная к общей границе между этими телами
16. Наибольшая сила трения покоя Maximum static friction force	Сила трения покоя, любое превышение которой ведет к началу макросмещения
17. Предварительное смещение Preliminary displacement	Относительное микросмещение двух твердых тел при трении в пределах перехода от состояния покоя к относительному движению

Продолжение приложения 1

18. Скорость скольжения Sliding velocity	Разность скоростей тел в точках касания при скольжении
19. Коэффициент трения Coefficient of friction	Отношение силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела друг к другу
20. Поверхность трения Sliding Surface	Поверхность тела, участвующая в трении
21. Коэффициент сцепления Coefficient of engagement	Отношение наибольшей силы трения покоя двух тел к нормальной относительно поверхностей трения силе, прижимающей тела друг к другу
ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ	
22. Механическое изнашивание Mechanical wear	Изнашивание в результате механических воздействий
23. Коррозионно-механическое изнашивание Mechanocorrosive wear	Изнашивание в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой
24. Абразивное изнашивание Abrasive wear	Механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц
25. Гидроэрозионное (газоэрозионное) изнашивание Hydrocrusiw (gasovrosive) wear	Изнашивание поверхности в результате воздействия потока жидкости (газа)
26. Гидроабразивное (газообразное) изнашивание Hydroabrasive (gasoabrasive) wear	Абразивное изнашивание в результате действия твердых тел или твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости (газа)

Продолжение приложения 1

<p>27. Усталостное изнашивание Fatigue wear</p>	<p>Механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя. <i>Примечание.</i> Усталостное изнашивание может происходить как при трении качения, так и при трении скольжения</p>
<p>28. Кавитационное изнашивание Cavitation wear</p>	<p>Механическое изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное высокое ударное давление или высокую температуру</p>
<p>29. Изнашивание при заедании Adhesive wear</p>	<p>Изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность</p>
<p>30. Окислительное изнашивание Oxidative wear</p>	<p>Коррозионно-механическое изнашивание, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой</p>
<p>31. Изнашивание при фреттинге Fretting wear</p>	<p>Механическое изнашивание соприкасающихся тел при колебательном относительном микросмещении</p>
<p>32. Изнашивание при фреттинг-коррозии Fretting corrosion wear</p>	<p>Коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях</p>
<p>33. Электроэрозионное изнашивание Electrocrosive wear</p>	<p>Эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока</p>

Продолжение приложения 1

<p>34. Предельный износ Limiting wear</p>	<p>Износ, соответствующий предельному состоянию изнашиваемого изделия или его составной части</p>
<p>35. Допустимый износ Permissible wear</p>	<p>Значение износа, при котором изделие сохраняет работоспособность. <i>Примечание.</i> Допустимый износ меньше предельного</p>
<p>36. Местный износ Local wear</p>	<p>Износ на отдельном участке поверхности трения</p>
<p>37. Эпюра износа Wear distribution line</p>	<p>Графическое изображение распределения значений местного износа по поверхности трения или по определенному ее сечению</p>
<p>38. Скорость изнашивания Wear rate</p>	<p>Отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник. <i>Примечание.</i> Различают мгновенную (в определенный момент времени) и среднюю скорость изнашивания (за определенный интервал времени)</p>
<p>39. Интенсивность изнашивания Wear Intensity</p>	<p>Отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание. или объему выполненной работы. <i>Примечания:</i> 1. Единицу объема выполненной работы выбирают в каждом отдельном случае. 2. Различают мгновенную и среднюю интенсивности изнашивания</p>

ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ ПРИ ТРЕНИИ И ИЗНАШИВАНИИ	
40. Скачкообразное движение при трении Slick-slip motion	<p>Явление чередования относительного скольжения и относительного покоя или чередования увеличения и уменьшения относительной скорости скольжения, возникающее самопроизвольно при трении движения.</p> <p><i>Примечание.</i> Примером скачкообразного движения может служить движение, возникающее вследствие автоколебаний при понижении коэффициента трения с увеличением скорости скольжения</p>
41. Схватывание при трении Схватывание Adhesion in friction Adhesion	<p>Явление местного соединения двух твердых тел, происходящего вследствие действия молекулярных сил при трении</p>
42. Перенос материала Transfer of material	<p>Явление при трении твердых тел, состоящее в том, что материал одного тела соединяется с другими и, отрываясь от первого, остается на поверхности второго</p>
43. Заедание Seizure	<p>Процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала.</p> <p><i>Примечание.</i> Заедание может завершаться прекращением относительного движения</p>
44. Задир Scoring	<p>Повреждение поверхности трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения</p>
45. Царапание Scratching	<p>Образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при воздействии выступов твердого тела или твердых частиц</p>

Продолжение приложения 1

46. Отслаивание Spading	Отделение с поверхности трения материала в форме чешуек при усталостном изнашивании
47. Выкрашивание Pitting	Образование ямок на поверхности трения в результате отделения частиц материала при усталостном изнашивании
48. Приработка Running-in	Процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания
ВИДЫ СМАЗКИ	
49. Газовая смазка Gas lubrication	Смазка, при которой разделение поверхностей трения деталей осуществляется газовым смазочным материалом
50. Жидкостная смазка Liquid lubrication	Смазка, при которой полное разделение поверхностей трения деталей осуществляется жидким смазочным материалом
51. Твердая смазка Solid-film lubrication	Смазка, при которой разделение поверхностей трения деталей, находящихся в относительном движении, осуществляется твердым смазочным материалом
52. Гидродинамическая (газодинамическая) смазка Hydrodynamic (aerodynamic) lubrication	Жидкостная (газовая) смазка, при которой полное разделение поверхностей трения осуществляется в результате давления, самовозникающего в слое жидкости (газа) при относительном движении поверхностей

Продолжение приложения 1

<p>53. Гидростатическая (газостатическая) смазка Hydrostatic (aerostatic) lubrication</p>	<p>Жидкостная (газовая) смазка, при которой полное разделение поверхностей трения деталей, находящихся в относительном движении или покое, осуществляется в результате поступления жидкости (газа) в зазор между поверхностями трения под внешним давлением</p>
<p>54. Эластогидродинамическая смазка Elasto-hydrodynamic lubrication</p>	<p>Смазка, при которой характеристики трения и толщина пленки жидкого смазочного материала между двумя поверхностями, находящимися в относительном движении, определяются упругими свойствами материалов тел, а также реологическими свойствами последнего</p>
<p>55. Граничная смазка Boundary lubrication</p>	<p>Смазка, при которой трение и износ между поверхностями, находящимися в относительном движении, определяются свойствами поверхностей и свойствами смазочного материала, отличными от объемной вязкости</p>
<p>56. Полужидкостная (смешанная) смазка Mixed-film lubrication</p>	<p>Смазка, при которой осуществляются частично гидродинамическая, частично граничная смазки</p>
<p>МЕТОДЫ СМАЗЫВАНИЯ</p>	
<p>57. Непрерывное смазывание Continuous lubrication</p>	<p>—</p>
<p>58. Периодическое смазывание Periodical lubrication</p>	<p>—</p>
<p>59. Циркуляционное смазывание Circulating lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором смазочный материал после прохождения по поверхностям трения вновь подводится к ним механическим способом</p>

Продолжение приложения 1

<p>60. Одноразовое проточное смазывание Once-through lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором смазочный материал периодически или непрерывно подводится к поверхности трения и не возвращается в систему смазки</p>
<p>61. Ресурсное смазывание Life-time lubrication</p>	<p>Одноразовое смазывание на ресурс узла перед началом работы</p>
<p>62. Смазывание под давлением Force-feed lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором смазочный материал подводится к поверхности трения под давлением</p>
<p>63. Смазывание погружением Dip-feed lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором поверхность трения полностью или частично, постоянно или периодически погружена в ванну с жидким смазочным материалом</p>
<p>64. Смазывание кольцом Ring lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором смазочный материал подводится к поверхностям трения кольцом, увлекаемым во вращение валом. <i>Примечание.</i> Кольцо может быть закреплено на валу</p>
<p>65. Капельное смазывание Drop-feed lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором к поверхности трения подводится жидкий смазочный материал в виде капель</p>
<p>66. Смазывание масляным туманом Oil fog lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором смазочный материал подводится к поверхности трения в виде легкого или густого тумана, обычно образуемого путем введения смазочного материала в струю воздуха или газа</p>
<p>67. Смазывание набивкой Pad lubrication</p>	<p>Смазывание, при котором жидкий смазочный материал подводится на существенном участке поверхности с помощью соприкасающегося с ней смачиваемого материала, обладающего капиллярными свойствами</p>

Продолжение приложения 1

68. Фитильное смазывание Wick lubrication	Смазывание, при котором жидкий смазочный материал подводится к поверхности трения с помощью фитиля
69. Ротапринтное смазывание Rotaprint lubrication	Смазывание, при котором на поверхность детали наносится твердый смазочный материал, отделяющийся от специального смазывающего твердого тела, прижимаемого к поверхности
70. Смазывание твердым покрытием Solid-film coating	Смазывание, при котором на поверхности трения до работы детали наносится смазочный материал в виде твердого покрытия
СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СОСТАВЛЯЮЩИЕ	
71. Газообразный смазочный материал Gaseous lubricant	–
72. Жидкий смазочный материал Liquid lubricant	–
73. Смазочное масло Lubricating oil	Очищенное масло, предназначенное для уменьшения трения между движущимися поверхностями
74. Базовое масло Base oil	Смазочное масло, к которому добавляется одна или несколько присадок с целью получения готового продукта
75. Пластичный смазочный материал ПСМ Grease	Полутвердый или твердый продукт, состоящий из смеси минерального или синтетического масла, стабилизированного мылами или другими загустителями с возможным содержанием других компонентов. <i>Примечание.</i> Временно до 01.01.93 допускается наряду с термином «пластичный смазочный материал» применять дополнительную краткую форму «смазка»

Продолжение приложения 1

76. Твердый смазочный материал Solid lubricant	–
77. Смазочный материал с присадкой Lubricant with additive	–
78. Минеральный смазочный материал Mineral oil	Смазочный материал минерального происхождения, полученный смешением углеводородов в естественном состоянии или полученный в результате обработки минеральных продуктов
79. Нефтяной смазочный материал Petroleum lubricant	Очищенное масло, полученное из нефтяного сырья
80. Растительный смазочный материал Vegetable lubricant	–
81. Животный смазочный материал Animal lubricant	–
82. Синтетический смазочный материал Synthetic lubricant	–
83. Присадка к смазочному материалу Присадка Additive	Вещество, добавляемое к смазочному материалу для придания ему новых свойств или усиления существующих
84. Связующее твердого смазочного материала Связующее Solid lubricant binder	Вещество, способствующее сцеплению частиц твердого смазочного материала между собой и поверхностью трения
85. Антиокислительная присадка Antioxidant additive	Присадка, препятствующая, ограничивающая или задерживающая окисление смазочного материала

Продолжение приложения 1

86. Противоизносная присадка Antiwear additive	Присадка, препятствующая или уменьшающая скорость или интенсивность изнашивания трущихся поверхностей
87. Противозадирная присадка Antiscoring additive	Присадка, препятствующая, ограничивающая или задерживающая заедание трущихся поверхностей
88. Депрессорная присадка Pour-point depressant	Присадка, понижающая температуру застывания жидкого смазочного материала
89. Присадка, улучшающая индекс вязкости Viscosity index improver	Присадка, обычно полимер, понижающая степень изменения вязкости с изменением температуры и увеличивающая в связи с этим индекс вязкости масла
90. Противопенная присадка Antifoam additive	Присадка, уменьшающая или препятствующая образованию стойкой пены в жидком смазочном материале
91. Моющая присадка Detergent additive	Поверхностно-активное вещество, помогающее удерживать твердые частицы в масле во взвешенном состоянии
92. Диспергирующая присадка Dispersant additive	Присадка к жидкому смазочному материалу, повышающая дисперсность нерастворимых загрязнений и стабильность суспензий преимущественно при низких температурах
93. Противоржавейная присадка Rust preventive additive	Присадка, препятствующая, ограничивающая или задерживающая время образования ржавчины на поверхностях деталей и сплавов на основе железа
94. Многофункциональная присадка Multifunctional additive	Присадка, улучшающая одновременно несколько свойств смазочного материала

95. Композиция присадок Additive package	Смесь нескольких присадок, готовых к добавлению в смазочный материал
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
96. Совместимость смазочных материалов Совместимость Lubricant compatibility	Способность двух или нескольких смазочных материалов смешиваться между собой без ухудшения их эксплуатационных свойств и стабильности при хранении
97. Консистенция смазочного материала Консистенция Consistency	Свойство пластичных смазочных материалов оказывать сопротивление деформации при внешнем воздействии
98. Вязкость Viscosity	Объемное свойство жидкого, полужидкого и полутвердого вещества оказывать сопротивление при трении. Вязкость уменьшается при повышении температуры
99. Смазочная способность Lubricity	Свойство смазочного материала снижать износ и силу трения, не зависящее от его вязкости
100. Индекс вязкости Viscosity index	Безразмерная величина, характеризующая по стандартной шкале изменение вязкости масла в зависимости от температуры
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ	
101. Совместимость при трении Frictional compatibility Compatibility	Свойство материалов сопряженных поверхностей предотвращать схватывание при трении
102. Прилегаемость при трении Прилегаемость Frictional conformability Conformability	Свойство материала при трении увеличивать поверхность трения упругим и пластическим деформированием поверхностного слоя

Окончание приложения 1

<p>103. Способность к поглощению твердых частиц Embedibility</p>	<p>Свойство материала поглощать твердые частицы, чтобы уменьшить их царапающее или режущее действие</p>
<p>104. Прирабатываемость Running-in ability</p>	<p>Свойство подшипникового материала уменьшать силу трения, температуру и интенсивность изнашивания в процессе приработки</p>
<p>105. Износостойкость материала Wear resistance of material</p>	<p>Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения</p>
<p>106. Относительная износостойкость Relative wear resistance</p>	<p>Отношение интенсивности изнашивания одного материала к интенсивности изнашивания другого в одинаковых условиях. <i>Примечание.</i> Обычно один из материалов принимается за эталон</p>

*ГОСТ 27674–88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения.

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ 2070 СМТ-1

1. Назначение машины

Машина предназначена для испытания материалов на трение и износ, для изучения процессов трения и износа металлов, сплавов и жестких конструкционных пластмасс.

2. Устройство и работа машины

2.1. Принцип действия машины заключается в истирании пары образцов (типа «диск–диск», «диск–колодка» или «вал–втулка»), прижатых друг к другу силой P .

В процессе работы на нижнем образце измеряют момент трения.

Взаимосвязь всех узлов и механизмов машины представлена на кинематической схеме машины (рис. 2).

Электродвигатель 38 через зубчатый ремень 5 вращает шкивы 3 и 6. Шкив 3 через предохранительный штифт 4, вал 39, муфту 9, датчик момента 10, муфту 12 вращает вал бабки 14, на котором устанавливают образец 27. Шкив 6 через вал 8, кулачковую муфту 11, вал 16, шестерни 23 и 24 вращает вал каретки 25, на котором устанавливают образец 25. Образцы 26 и 27 прижимаются друг к другу силой пружины 33. Величину силы нагружения регулируют осью-винтом 29, который передает нагрузку на образцы через пята 30, кронштейн 28 и корпус каретки 22, возможна передача нагрузки через рычаг испытательной камеры. В процессе работы на машине измеряется момент трения – сигнал поступает с датчика момента 10; усилие нагрузки на образцы – датчиком нагрузки 36 является прецизионное сопротивление; скорость вращения бабки 14 – датчиком скорости 37 является тахогенератор. В процессе работы происходит отсчет числа циклов нижнего образца – датчиком числа циклов 2 служит бесконтактный выключатель.

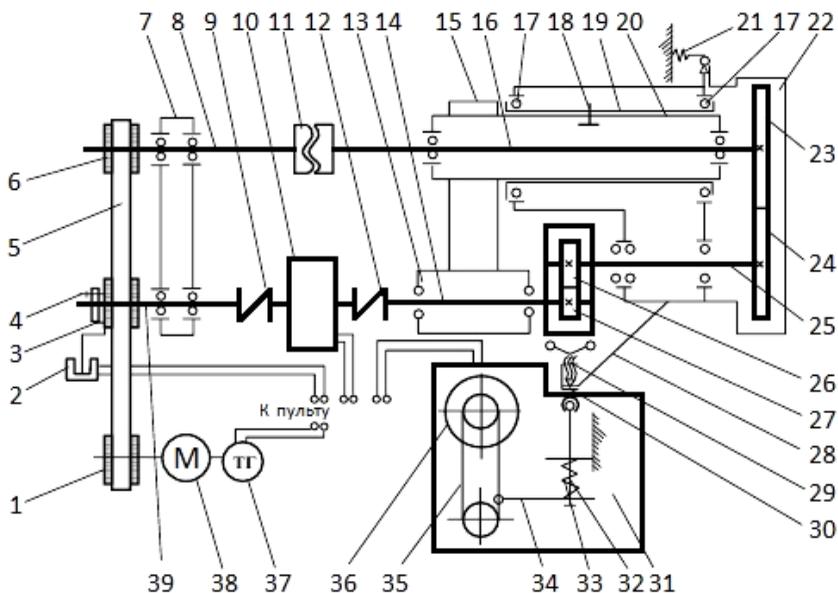


Рис. 2. Кинематическая схема машины 2070 СМТ-1:

1 – шкив сменный; 2 – датчик числа циклов; 3 – шкив;

4 – штифт предохранительный; 5 – ремень зубчатый; 6 – шкив сменный;

7 – корпус; 8 – вал; 9 – муфта; 10 – датчик момента; 11 – муфта кулачковая;

12 – муфта; 13 – шпиндель сменный; 14 – вал бабки; 15 – бабка нижнего образца;

16 – вал; 17 – подшипник; 18 – фиксатор; 19 – стакан; 20 – труба; 21 – пружина уравнивания;

22 – каретка; 23 – шестерня; 24 – шестерня; 25 – вал каретки;

26 – образец; 27 – образец; 28 – кронштейн; 29 – ось-винт; 30 – пята;

31 – механизм нагружения; 32 – тяга; 33 – пружина; 34 – планка; 35 – нить;

36 – датчик нагрузки; 37 – датчик скорости; 38 – электродвигатель; 39 – вал

Коэффициент проскальзывания образцов «диск–диск» при одинаковом диаметре верхнего и нижнего образцов изменяют, меняя сменный шкив 6.

Диапазон частоты вращения вала нижнего образца изменяют, меняя сменный шкив 1. Частоту вращения в пределах диапазона изменяют с помощью электродвигателя 38.

2.2. Испытательная установка собрана на станине. Внутри станины установлен электродвигатель с тахогенератором и деталями, позволяющими регулировать натяжение ремня. Внутри станины установлены также пружина для уравнивания каретки.

На верхней плоскости станины установлены бабка нижнего образца, датчик, бабка привода и каретка.

На лицевой передней части станины размещен механизм нагружения. Вся верхняя часть машины закрыта кожухом. С левой стороны установки под кожухом находится ременная передача со шкивами. Доступ к ременной передаче для смены шкивов, изменения натяжения ремня и замены предохранительного штифта – через крышку. Фиксацию каретки в верхнем положении осуществляют фиксатором.

2.3. Бабка нижнего образца состоит из корпуса и сменного шпинделя, установленного в переднем отверстии бабки, в заднем отверстии установлена каретка. Для облегчения извлечения из корпуса каретки и шпинделя служат отжимные болты. В бабке может быть установлен шпиндель с выходным валом диаметром 16 мм для образцов «диск–диск» и «диск–колодка» и диаметром 22 мм для образцов «вал–втулка».

Шпиндель состоит из корпуса и вала, установленного на подшипниках. На левой части вала закреплена полумуфта для соединения с датчиком момента. На правой стороне гайкой закреплён образец. Подшипники защищены от пыли и грязи лабиринтными уплотнениями, чтобы трение и уплотнение было минимальным, так как это трение вносит дополнительную погрешность в измерение момента трения. Подшипники шпинделя охлаждаются водой, циркулирующей в корпусе.

Для смазки подшипников в корпусе шпинделя установлены шприц-масленки.

2.4. Каретка предназначена для испытаний с образцами «диск–диск» и «диск–колодка» при усилии на образцы до 2000 Н.

Каретка через трубу закреплена в корпусе бабки нижнего образца. Вся каретка установлена на трубе с помощью стакана, дающего возможность продольного перемещения каретки. На стакане на подшипниках установлен корпус каретки. Вокруг этих подшипников каретка поворачивается при нагружении и износе образцов, а также обеспечивается поворот в нерабочее – верхнее положение. От осевого перемещения при испытании каретку фиксирует фиксатор.

В трубе в подшипниках установлен вал, получающий вращение от привода. С вала через шестерни получает вращение вал верхнего образца, на котором крепят образец «диск» или «колодка». Стакан, в котором на подшипниках установлен вал, имеет каналы для охлаждения его водой.

Для смазки подшипников имеются шприц-масленки. Маслоукатель служит для наблюдения за уровнем масла, залитого в корпус каретки.

Нагрузка на образцы передается от механизма нагружения через кронштейн, закрепленный на корпусе каретки.

2.5. Механизм нагружения предназначен для создания нагрузки на испытываемых образцах. При вращении ось-винта через скобу, тягу и тарель сжимается пружина, которая и создает нагрузку. При сжатии пружины планка перемещается вместе с нитью. При своем перемещении нить поворачивает ролик, закрепленный на оси датчика. Сигнал с датчика поступает на прибор пульта управления. Величину нагрузки, приложенной к образцам, устанавливают в соответствии с градуировочными характеристиками, занесенными в паспорт машины.

2.6. Датчик

Для измерения крутящего момента (момента трения) на машине служит бесконтактный индуктивный датчик, состоящий из двух частей: вращающегося ротора и неподвижного статора. Основной частью ротора является торсион, который с помощью муфт включают в силовую цепь машины, где измеряется крутящий момент, возникающий при испытании образцов. На рабочей длине торсиона имеются три обода, на которых запрессованы кольца из немагнитного материала. На этих кольцах закреплены кольца из магнитной стали, боковые поверхности которых выполнены по всей окружности в виде зубцов.

Неподвижный статор имеет вид полого цилиндра. От проворота статор фиксируется винтом. В пазах магнитопроводов статора размещены питающие и измерительные катушки. Магнитопроводы статора выполнены из мягкой магнитной стали.

Первоначальную величину рабочего зазора устанавливают равной $S_2 = 0,8$ мм. Величина радиального воздушного зазора очень мала. Этим зазором статор отделяется от ротора по всей периферии, и его сопротивление магнитному потоку представляет величину второго порядка по сравнению с сопротивлением рабочих зазоров S_2 . Поэтому величина изменения зазора, возникающей вследствие неизбежного биения ротора по отношению к сектору, можно пренебречь. Магнитный поток статора, создаваемый питающими катушками 4, разветвляется в роторе на две части и проходит по следующим участкам: статор – радиальный зазор S_1 – кольцо – рабочие зазоры правой и левой половины ротора – кольца 8 – радиальный зазор S_1 – статор.

При отсутствии крутящего момента рабочие зазоры S_2 с правой и левой половины ротора равны между собой и магнитный поток разветвляется в роторе на две равные половины. Поскольку измерительные катушки 5 охватываются одинаковыми по величине потоками, то в них наводятся равные по величине ЭДС.

Во время испытания возникает момент трения, который скручивает вал нижнего образца. Второй конец вала соединен с торсионным датчиком, который воспринимает этот же момент. Под действием момента торсион скручивается, а крайние кольца смещаются (повертываются) относительно среднего кольца в разные стороны на равные углы. Благодаря этому меняются рабочие зазоры в левой и правой половине ротора (с одной стороны ротора зазоры увеличиваются, с другой – уменьшаются).

Составляющие магнитного потока в роторе перераспределяются, причем большая часть проходит через половину, где рабочие зазоры S_2 уменьшились. Поэтому ЭДС в одной измерительной катушке увеличивается (т. к. увеличивается поток, которым она охватывается), а во второй – уменьшается (так как уменьшается поток). Таким образом, изменение ЭДС в измерительных катушках 5 происходит пропорционально изменению рабочих зазоров S_2 (потоков) или пропорционально измеряемому крутящему моменту.

Электрические сигналы с измерительных катушек подаются в электрическую схему сравнения и далее на электронный потенциометр, который показывает и записывает величину измеряемого момента трения и процесса испытания образца.

2.7. Бабка привода служит для передачи вращения от электродвигателя на нижний и верхний образцы. В корпусе на подшипниках установлено два вала. Первый вал передает вращение через датчик момента на нижний образец, а второй вал передает вращение через каретку на верхний образец.

2.8. Испытательная камера (рис. 3) служит для испытания образцов в жидкой среде.

Корпус 18 камеры отлит из чугуна. В зависимости от типа испытываемых образцов камеру закрывают крышкой 3 (образцы «вал–втулка») или крышкой 20 (образцы «диск–диск» или «диск–колодка»). Крышки крепят на корпусе 18 откидными винтами 17 с гайками. В корпусе 18 камеры имеется отверстие с войлочными уплотнителями для ввода вала шпинделя, на нем закрепляют нижний образец «диск» (или образец «вал» при испытаниях образцов

«вал–втулка»). Для наблюдения за данной зоной трения в корпусе 18 камеры имеется окно 4 и осветители 7, которые включают кнопочным выключателем, расположенным на пульте управления. Камеру устанавливают на посадочный диаметр шпинделя и крепят к торцевой поверхности бабки тремя болтами М10.

Для испытания образцов «вал–втулка» образец «втулка» устанавливают в обойме 12 и стопорят установочным винтом. Обойму 12 удерживает от поворота подшипник 11, опирающийся на регулируемый упор 5. Нагрузку при испытаниях образцов «вал–втулка» прикладывают к подушке 16 рычага 10, через толкатель 9 она действует на обойму 12 с образцом «втулка». Толкатель 9 вводят в камеру через войлочное уплотнение 8.

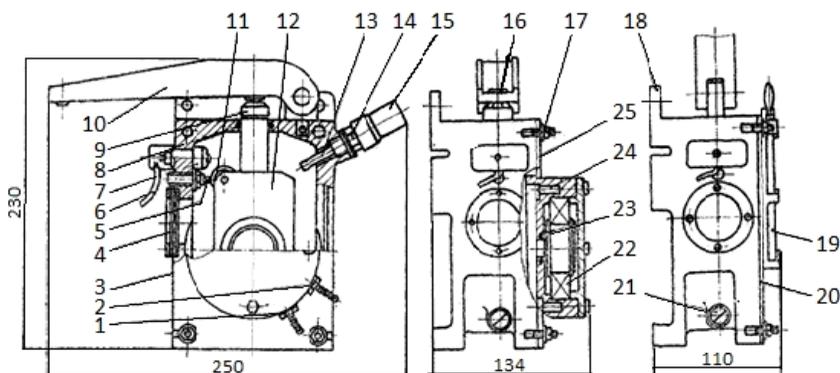


Рис. 3. Испытательная камера:

- 1, 2 – штуцеры; 3 – крышка; 4 – окно; 5 – упор; 6 – привод; 7 – осветитель;
 8 – уплотнение; 9 – толкатель; 10 – рычаг; 11 – подшипник; 12 – обойма;
 13 – трубка; 14 – штуцер; 15 – колпак; 16 – подушка; 17 – винт откидной;
 18 – корпус; 19 – замок клиновой; 20 – крышка; 21 – пробка; 22 – подшипник;
 23 – уплотнение; 24 – камера охлаждения; 25 – крышка

При испытаниях образцов «вал–втулка» смазывающую жидкость можно подавать непосредственно в зону трения через штуцер 14 и трубу 13. При этом для отвода жидкости из камеры вместо пробки 21 ввертывают штуцер Гб 8.652.067 из комплекта сменных частей. К штуцеру 1 камеры охлаждения 24 подшипника 22 под давлением водопроводной сети поступает холодная вода, а от штуцера 2 с помощью резиновых шлангов отводится.

Для испытаний образцов «диск–диск» обойму 12 и толкатель 9 удаляют из камеры. Отверстие для ввода толкателя закрывают заглушкой. На вал шпинделя устанавливают нижний образец «диск» и затягивают гайкой. На вал каретки надевают крышку 20 камеры и устанавливают верхний образец «диск», который затягивают гайкой с левой резьбой. Не следует прилагать значительных усилий при затяжке гаек крепления образцов, так как при испытаниях гайки затягиваются. После установки крышки 20 на корпус камеры, затяжки откидных винтов 17 и запираения клинового замка 19 можно проводить испытание образцов «диск–диск» в жидкой среде. Верхний образец при этом виде испытаний нагружают через каретку. Рычаг 10 должен быть откинут в нерабочее (заднее) положение.

Для испытаний образцов «диск–колодка» на вал шпинделя устанавливают образец «диск» и затягивают гайкой. На вал каретки надевают крышку 20 камеры, устанавливают держатель и затягивают его гайкой с левой резьбой. В держателе закрепляют образец «колодка». В отверстие корпуса камеры устанавливают упор и закрепляют его круглой гайкой так, чтобы шлиц упора был параллелен оси вала шпинделя. После установки крышки 20 на корпус камеры, затяжки откидных винтов 17 и запираения клинового замка 19 можно проводить испытания образцов «диск–колодка» в жидкой среде. Нагружают образец «колодка» через каретку. Рычаг 10 должен быть откинут в нерабочее (заднее) положение.

2.9. Пульт управления

Пульт управления представляет собой стандартную стойку, в которой смонтированы блоки и панели управления. В верхней части пульта управления находится блок, на лицевой панели которого расположены органы управления в устройстве выдачи информации: указатель частоты вращения нижнего образца, счетчик числа оборотов, указатель нагрузки, переключатель диапазонов частоты вращения нижнего образца и нагрузки.

В работу счетчик включают блоком переключателей. В нижней части пульта управления установлен блок, на лицевой панели которого имеется выключатель 2 для подачи напряжения на машину.

Переключатель рода работы «Проверка», «Работа», расположенный на лицевой панели пульта управления, устанавливает вид работы на машине. Там же расположены: переключатель диапазонов момента трения, выключатель освещения камеры, потенциометр,

позволяющий следить за изменением момента трения (шкала потенциометра условная, истинную величину момента определяют по градуировочным характеристикам, занесенным в паспорт машины).

Электродвигатель привода машины запускают в работу кнопкой «Пуск», останавливают кнопкой «Стоп».

В случае срочной необходимости машину можно выключить, нажав кнопку «Стоп», расположенную на испытательной установке. Частоту вращения нижнего образца определяют положением резисторов «Грубо», «Точно» регулятора скорости. Для измерения температуры образцов установлен потенциометр.

Для установки на нуль стрелки потенциометра измерения на лицевой панели пульта управления расположен резистор «Установка нуля».

2.10. Электрооборудование машины питается от сети трехфазного переменного тока напряжением 220/380 В, 50 Гц. Электрическая схема машины предусматривает: нулевую защиту посредством применения контакторной аппаратуры; защиту от коротких замыканий предохранителями; защиту от перегрузки электродвигателя при достижении величины момента трения более 20 Н.м, блокировку машины от включения во время проверки.

3. Подготовка к работе

Машина позволяет проводить испытания с различными образцами, нагрузками и частотой вращения образцов, а также коэффициентами проскальзывания. Кроме того, работа может вестись как в камере с различными смазками, так и без камеры. Поэтому независимо от поставленной перед испытателем задачей перед испытанием необходимо провести подготовку машины.

Общими операциями до установки образцов являются:

- установка диапазона частот вращения образцов, которую производят, сменяя шкив на электродвигателе согласно маркировке на шкиве и таблице на крышке;
- установка необходимого шпинделя;
- подключение воды для охлаждения подшипников каретки и шпинделя;
- подготовка к работе электрооборудования.

3.1. Подготовка электрооборудования

Установите переключатель рода работ на пульте управления в положение «Работа», а переключатель счетчика числа оборотов в положение «Включено».

Включением выключателя подайте напряжение на блок тиристорного привода, схему управления, схему измерения момента и нагрузки. Установите блок переключателей «Освещение камеры» в положение «Вкл». Кнопкой «Пуск» запустите в работу электродвигатель привода машины. В зависимости от рода испытаний установите блоки переключателей в нужное положение:

- «Диапазон момента»
- «Частота вращения»
- «Нагрузка».

Перед началом испытаний прогрейте измерительную схему машины в течение 30 минут. После прогрева установите на нуль стрелку потенциометра измерения момента резистором «Установка нуля» и указателя «Нагрузка» одним из резисторов.

3.2. Подготовка к работе с образцами «диск–диск»

Установите требуемый коэффициент проскальзывания сменного шкива. Наденьте крышку на вал каретки перед установкой верхнего образца при работе в жидкой среде.

Установите образцы. При затягивании гаек, крепящих образцы, удерживайте вал вторым ключом. Если не удерживать вал вторым ключом, может произойти поломка датчика момента. Гайка вала каретки имеет левую резьбу. При затягивании гаек не прилагайте большего усилия, так как при работе гайки самозатягиваются.

Биение образцов проверяйте индикатором. Наименьшего биения добивайтесь поворотом образца. После этого сдвиньте каретку в левое положение и на винт наденьте петлю троса уравнивания. Плавно опустите каретку до соприкосновения образцов, зафиксируйте ее от осевого перемещения и закрепите крышку камеры.

3.3. Подготовка к работе с образцами «диск–колодка»

Проводится аналогично подготовке к работе по схеме «диск–диск». Дополнительно выполните следующее:

- расцепите полумуфту и заведите болт в паз стойки;
- установите на валу каретки колодку в держателе.

3.4. Подготовка для работы с образцами «вал–втулка»

1. Поднимите каретку в верхнее положение.
2. Расцепите муфту привода каретки.

3. Установите образец «вал» на вал шпинделя и закрепите его гайкой.

4. Наденьте на образец «вал» обойму с закрепленным в обойме образцом «втулка».

5. Обойму зафиксируйте в испытательной камере.

6. Закройте испытательную камеру крышкой.

4. Порядок работы

В процессе работы машину обслуживает один лаборант. Поскольку методы испытаний на машине не стандартизованы, параметры испытаний выбирайте в зависимости от задачи, поставленной перед испытанием, или методики испытаний, принятой в организации, эксплуатирующей машину.

Каретку до соприкосновения образцов опускайте плавно, не допуская ударов. Удары могут вызвать неисправимое биение валов. Нагружение образцов ведите плавно, вращая винт нагружения при вращающемся образце, наблюдая за величиной момента трения по потенциометру.

При испытании образцов с высоким коэффициентом трения образцы дополнительно законтрите.

Не перегружайте машину моментом свыше установленного диапазона 10 или 20 Н·м.

При смене испытанных образцов пользуйтесь съемником.

Запрещается работать на резонансных режимах и режимах, близких к резонансу, а также с образцами, имеющими биение не более 0,1 мм.

5. Регулировка и настройка

5.1. Настройка частоты вращения нижнего образца

Для измерения частоты вращения нижнего образца во время испытания используйте вольтметр.

Указатель частоты вращения имеет два предела измерения: от 150 до 1500 мин⁻¹ или от 75 до 750 мин⁻¹.

Частоту вращения настраивайте следующим образом. Включите машину и задайте частоту вращения 1500 мин⁻¹ резисторами, расположенными на лицевой стороне пульта управления. Переключатель указателя частоты вращения поставьте в положение «x10». Резистором, расположенным внутри выдвижного блока, установите

стрелку указателя частот вращения на отметку 150. Задатчиком частоты вращения установите частоту вращения 1500 мин^{-1} и проверьте истинную частоту вращения нижнего образца. Если она отличается от заданной, подкорректируйте показания указателя частоты вращения V резисторами.

Задатчиками частоты вращения установите по указателю частоты вращения 750 мин^{-1} и переключатель указателя частоты вращения поставьте в положение «х5». Резистором установите стрелку указателя частоты вращения на отметку 150, что соответствует частоте вращения 750 мин^{-1} .

5.2. Настройка измерения момента трения

Стрелку шкалы потенциометра установите на нуль с помощью резисторов «Установка нуля» «Грубо», «Плавно». На подвес приспособления положите груз массой 5 кг, создающий момент 20 Н·м.

Переключатель диапазонов установите в положение «х2».

При этом стрелка потенциометра должна показать 98–100 делений шкалы. Если показания стрелки не будут соответствовать указанному диапазону шкалы (больше или меньше), то с помощью резистора «Установка предела» установите необходимый диапазон 98–100 делений по шкале потенциометра.

Снимите грузы и проконтролируйте нуль на шкале потенциометра. Проконтролируйте при моменте 20 Н·м принятый диапазон. Диапазон измерения момента считается установленным, если при нулевой нагрузке стрелка потенциометра находится на нуле, а при моменте 20 Н·м – на заданном значении шкалы потенциометра в пределах погрешности. Снимите грузы, проконтролируйте нуль шкалы потенциометра, невозвращение на нуль должно быть в пределах погрешности. На подвеску приспособления положите груз массой 2,5 кг, создающий момент 10 Н·м. Установите переключатель диапазонов в положение «х1». При этом стрелка потенциометра должна показать 98–100 делений.

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ЧМТ-1

1. Назначение машины

Машина предназначена для обеспечения проведения испытаний жидких и пластичных смазочных материалов, применяемых для смазывания трущихся поверхностей, с целью определения основных трибологических характеристик смазочных материалов в соответствии с ГОСТ 9490–75. Машина обеспечивает воспроизведение нормированных воздействий на испытательные образцы (шарики 12,7 ГОСТ 3722–81), находящиеся в испытуемом смазочном материале, в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации на смазочные материалы, для последующего определения величины износа испытательных образцов.

2. Устройство и работа машины

2.1. Принцип действия машины

Действие машины основано на воспроизведении нормированных воздействий на испытательные образцы, находящиеся в испытуемом смазочном материале, с последующим определением величины износа испытательных образцов.

В качестве испытательных образцов используются шарики ($12,70 \pm 0,01$)-10; 16 или 20 по ГОСТ 3722–81 из стали ШХ-15 по ГОСТ 801–78, которые образуют пирамидку из четырех шариков, контактирующих между собой. Три нижних шарика закреплены неподвижно в узле трения машины, в котором размещается испытуемый смазочный материал. Верхний шарик, закрепленный в шпинделе машины, прижимается к нижним шарикам с заданным усилием (осевой нагрузкой) и вращается с фиксированной скоростью. Проворачивание шариков в процессе испытаний считается недопустимым. Длительность испытаний – 10 с или 60 мин в зависимости от выбранного режима. При возникновении предельного момента трения в узле трения, равного $(1\ 180 \pm 25)$ Н·см [$(120 \pm 2,5)$ кгс·см], испытания прекращаются.

Машина обеспечивает создание осевых нагрузок в узле трения в диапазоне от 59 до 9 800 Н (от 6 до 1 000 кгс) в соответствии с нагрузочными рядами 1 и 2 по ГОСТ 9490–75. В ряду нагрузок 2 значения 64; 74; 83 и 93 Н (6,5; 7,5; 8,5 и 9,5 кгс) – исключены. Требуемое значение осевых нагрузок задается путем установления

гиредержателя с необходимым набором гирь в положение, определяемое индексом на рычаге, в соответствии с таблицей зависимости величины осевой нагрузки от установленной массы гирь.

Машина обеспечивает проведение испытаний при повышенной температуре смазочного материала. Для этого предусмотрен нагреватель и регулятор температуры, обеспечивающий поддержание температуры смазочного материала в диапазоне от температуры окружающего воздуха до плюс 300 °С.

Величина износа испытательных образцов определяется путем измерения диаметров износа каждого из трех нижних шариков с помощью микроскопа с увеличением не менее 24 г, снабженного отсчетной шкалой с ценой деления 0,01 мм и менее.

2.2. Конструкция машины

2.2.1. Общий вид машины представлен на рис. 1. Основой конструкции является (рис. 1) стойка 1, к которой крепится узел трения 2. Стойка представляет сварной каркас, к которому привернута стальная плита. В верхней части стойки расположена панель управления 3. В нижней части стойки, по четырем углам, размещены регулируемые ножки 4, служащие для установки машины. На левой стороне стойки внизу закреплены разъем 6, при помощи которого к машине подключаются провода внешних соединений и болт 5 для заземления.

2.2.2. На панели управления (рис. 2) установлены:

- 1 – розетка для подключения электронагревателя;
- 2 – разъем для подключения электронного секундомера;
- 3 – сетевой индикатор фаз;
- 4 – автоматический выключатель;
- 5 – реле времени;
- 6 – измеритель регулятор температуры;
- 7 – кнопка ПЕРЕГРУЗКА СБРОС с сигнальной лампой;
- 8 – переключатель ВРЕМЯ, предназначенный для установки режима «10 сек» или «60 мин»;
- 9 – кнопка ПУСК, предназначенная для включения электродвигателя машины;
- 10 – кнопка СТОП, предназначенная для выключения электродвигателя машины;

11 – переключатель НАГРЕВ, предназначенный для включения и выключения регулятора температуры.

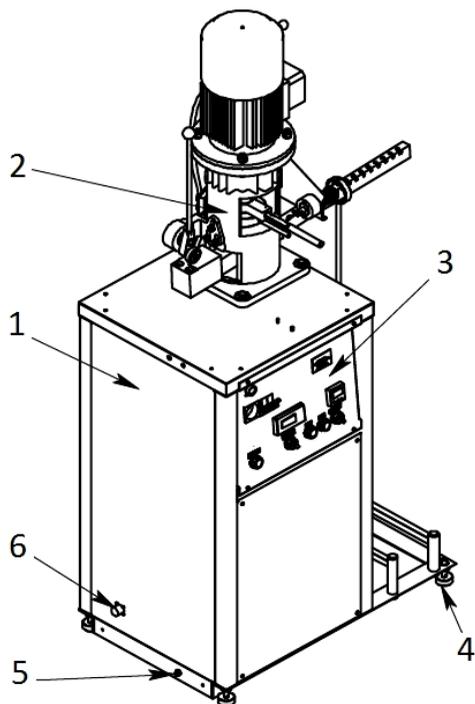


Рис. 1. Общий вид машины

2.2.3. Общий вид узла трения машины (рис. 3) состоит из следующих деталей и узлов:

1 – электродвигатель со встроенным электромагнитным тормозом и с ручным растормаживающим устройством 2;

3 – ограничитель, выключает электродвигатель при превышении крутящего момента ($120 \text{ кг}\cdot\text{м}$);

4 – рычаг для создания осевых нагрузок в узле трения;

5 – корпус для крепления трех нижних шариков;

6 – гиредержатель для установки гирь;

7 – подставка для корпуса 6;

8 – литой корпус;

9 – подпорка для приложения и снятия осевых нагрузок.

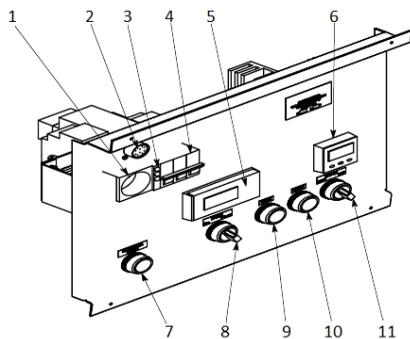


Рис. 2. Общий вид панели управления

При испытаниях смазочного материала на повышенных температурах, вместо подставки устанавливается электронагреватель.

2.2.4. Установка узлов и деталей узла трения (рис. 4):

- 1 – цанга для установки верхнего шарика;
- 2 – корпус для крепления трех нижних шариков;
- 3 – подставка;
- 4 – опорный подшипник без верхней шайбы;
- 5 – подпятник;
- 6 – втулка;
- 7 – толкатель;
- 8 – рычаг;
- 9 – опора призматическая.

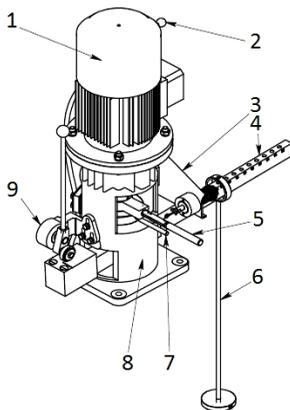


Рис. 3. Общий вид узла трения

Рукоятка корпуса 5 (рис. 3) снабжена крючком, с помощью которого корпус узла трения связывает с тягой ограничителя 3. Устройство для создания нагрузки состоит (см. рис. 4) из рычага 8, установленного на двух опорах призматических 9, которые установлены на приливах корпуса. В рычаге (рис. 5) имеется 15 глухих отверстий с индексами от 6 до 20, обозначающих коэффициент передачи массы грузов на узел трения. На эти отверстия устанавливается гире-держатель с необходимыми грузами.

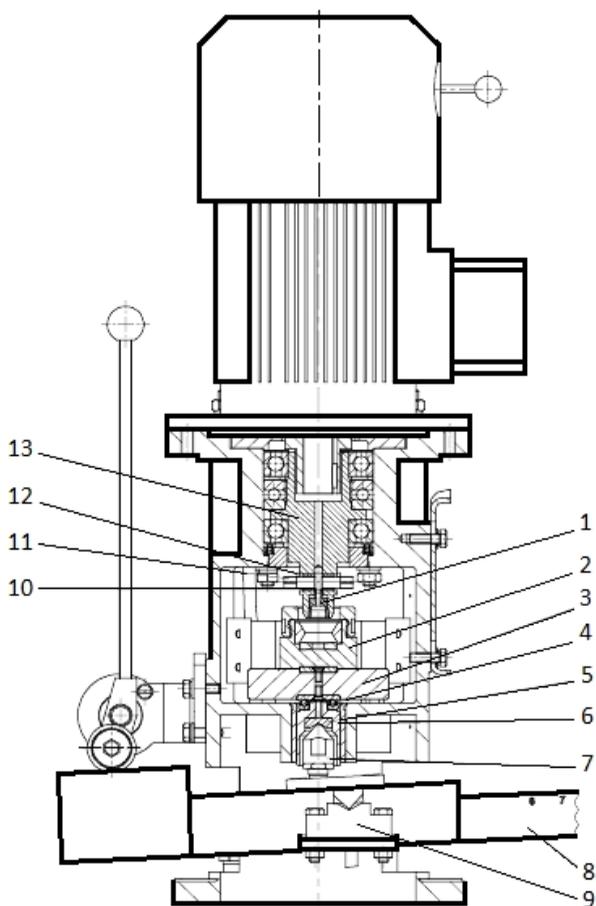


Рис. 4. Узел трения в разрезе

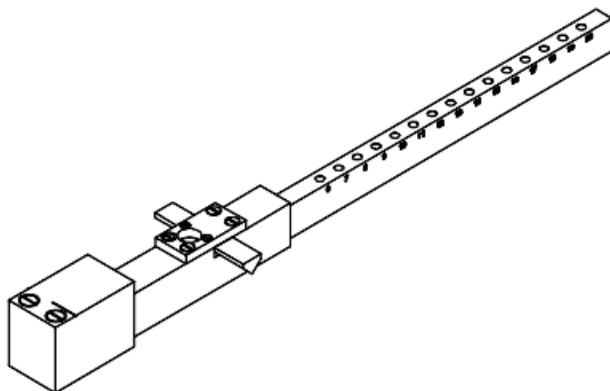


Рис. 5. Общий вид рычага

Для создания осевых нагрузок в диапазоне от 59 до 9 800 Н (от 6 до 1 000 кгс) машина снабжена комплектом грузов, включающим в себя гири и гиредержатель, который в нерабочем положении расположен на стойке машины. В комплект входят следующие гири: массой 0,1 кг – 4 шт.; массой 0,5 кг – 1 шт.; массой 1 кг – 4 шт.; массой 2 кг – 3 шт. и массой 5 кг – 8 шт. Масса гиредержателя равна 1 кг.

Слева от опоры призматической, являющейся центром вращения, в гнезде рычага установлен подпятник, на который установлен толкатель 7 (рис. 4). Толкатель сверху упирается в подпятник 5, установленный во втулке 6. На верхнем уступе втулки 6 установлен упорный подшипник 4 (не имеющий верхнего кольца), на который опирается алюминиевая подставка 3. Для удобства установки подставка снабжена ручкой. При испытаниях, проходящих при повышенных температурах смазочного материала, вместо подставки в машину устанавливают электронагреватель.

На корпусе 2 (рис. 4) имеется нижняя торцевая протока, в которую входит верхний диск подставки, чем обеспечивается самоцентрирование узла трения в процессе работы.

В корпусе закрепляются три нижних (неподвижных) шарика.

Четвертый (верхний) шарик зажимается в цанге 1. Наружная конусная часть цанги находится в коническом гнезде вала 13. Последний снабжен диаметральной отверстием, в котором на двух втулках 10 установлен эксцентриковый валик 11, предназначенный для выталкивания цанги из вала 13. Эксцентриковый валик имеет

квадратные хвостовики под ключ. На торцах хвостовиков нанесена стрелка, показывающая положение выступа эксцентрика. Фиксация втулок 10 осуществляется втулкой 12, через вырезы которой проходит эксцентриковый валик 11.

Вал 13 соединен с валом электродвигателя муфтой, установленной на вал двигателя со шпонкой. Электродвигатель прикреплен к верхнему фланцу корпуса болтами. Провода от электродвигателя пропущены через металлорукав, который прикреплен к нижнему фланцу корпуса при помощи прижимов.

Вал установлен на двух радиальных подшипниках. Осевое усилие воспринимается упорным подшипником.

Подшипники поджаты с помощью фланца.

Задний прямоугольный хвостовик корпуса помещен между двумя резиновыми амортизаторами, закрепленными на приливах корпуса. Амортизаторы смягчают удары корпуса, возникающие при достижении нагрузки сваривания. На задней стороне литого корпуса, на приливе, установлена пластина, имеющая вертикальный вырез. При снятии корпуса с машины (по окончании испытаний), датчик температуры сначала попадает в вырез пластины, а потом автоматически выдергивается из корпуса.

2.2.5. Корпус 1 (рис. 6) имеет центральную цилиндрическую часть и два прямоугольных хвостовика.

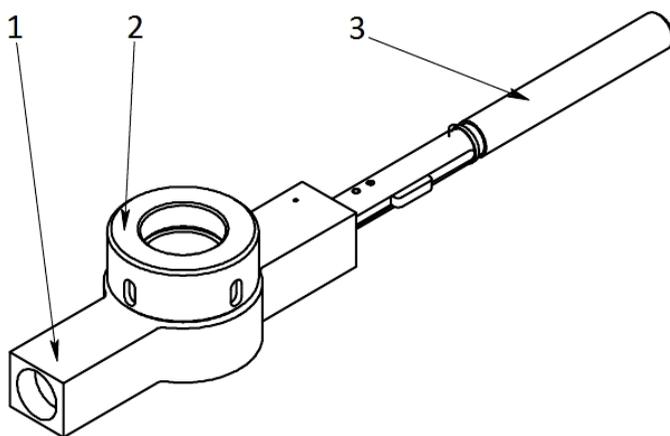


Рис. 6. Общий вид корпуса

Корпус снабжен съемной ручкой 3 с пружинной защелкой. На ручке 3 установлен крючок, при помощи которого корпус соединяется с тягой ограничителя. При установке рукоятки защелка запирается автоматически, а при снятии отпирается нажатием на выступ. Гайка 2 служит для закрепления шариков. Внутри центральной части (рис. 7) помещаются три шарика между коническими поверхностями нижнего кольца 3 и верхнего кольца 4 и зажимаются гайкой 2. В корпус расположено коническое отверстие 1 для установки в него датчика температуры.

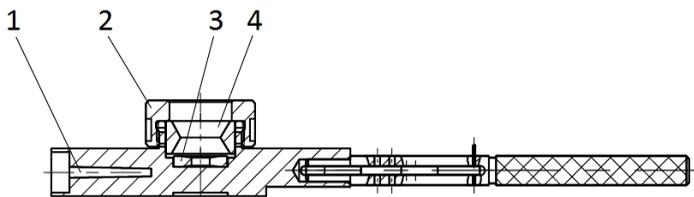


Рис. 7. Корпус в разрезе

2.2.6. В подпорке (рис. 8) во втулке 1 установлен палец, закрепленный по средствам шайбы 6 и болта 7. С другой стороны, запрессованный в рычаг 3 и служащий цапфой при повороте рычага. По другую сторону в рычаг запрессован палец 4, на котором крепится подшипник 5. Несущий ролик выполняет функцию эксцентрика. При повороте рычага за ручку 2 в верхнее положение освобождается узел трения от осевой нагрузки. При повороте рычага в нижнее положение – осевая нагрузка воспринимается узлом трения.

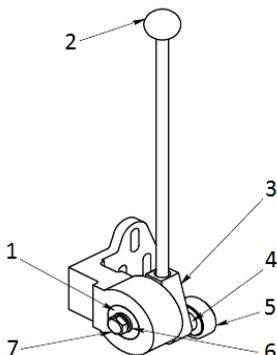


Рис. 8. Общий вид подпорки

2.2.7. Ограничитель (рис. 9) – устройство для автоматического выключения электродвигателя при достижении максимально допустимого значения крутящего момента.

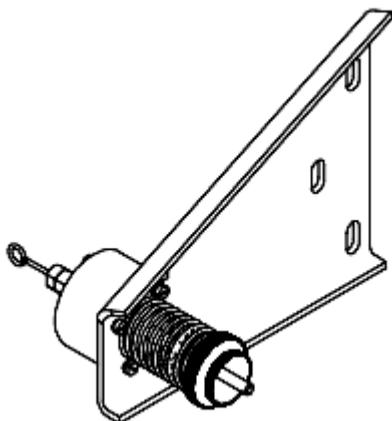


Рис. 9. Общий вид ограничителя

На кронштейне (рис. 10) винтами крепится втулка 4, в которых перемещается в осевом направлении валик 2. Пружина 5, нижний конец которой опирается на кронштейн, а верхний – на втулку 6, упирающуюся в навинченные на вал 2 гайки 7 и 8. Гайка 7 служит для регулировки усилия натяжения пружины 5, а гайка 8 контрит гайку 7. На валике закреплен крючок 9 посредством гайки 1 для соединения с ручкой корпуса.

На втулке 4 закреплена пластина 3 с установленным на ней микровыключателем 11. На валик 2 установлена шайба 10, которая в исходном положении нажимает на микровыключатель, контакт микропереключателя - замкнут.

При возрастании момента трения до 1 180 Н·см (120,0 кгс·см), усилие на валик в горизонтальном направлении преодолевает усилие натяжения пружины, и отжимает валик с установленной шайбой, вследствие чего контакт микропереключателя размыкается и загорается лампа в кнопке ПЕРЕГРУЗКА СБРОС. Электродвигатель машины выключается.

2.2.8. Электронагреватель представляет собой алюминиевый блок, с залитым в нем трубчатый электронагревательным элементом мощностью 0,8 кВт. Электронагреватель снабжен верхним и нижним сталь-

ными дисками, назначение которых – то же, что и в подставке. Выводы трубчатого электронагревательного элемента закрыты перфорированным кожухом. Соединение нагревательного устройства с электрической схемой машины осуществляется шнуром, снабженным штепсельной вилкой. Электронагреватель связан с шиной заземления.

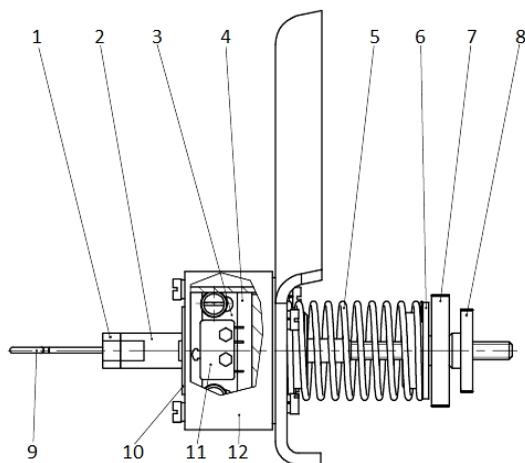


Рис. 10. Ограничитель

3. Порядок действий при использовании машины

3.1. Провести подготовительные работы в следующем порядке:

- подготовить шарики, применяемые при испытаниях, в соответствии с ГОСТ 9490–75;
- отсоединить тягу от рукоятки корпуса;
- перевести рычаг подпорки в верхнее положение, освободив тем самым узел трения от осевой нагрузки;
- вынуть подставку, снять корпус и разобрать его;
- все детали, соприкасающиеся со смазочным материалом во время испытаний, промыть бензином или бензолом, а затем просушить на воздухе;
- поворачивая входящим в комплект машины торцевым ключом эксцентриковый валик так, чтобы стрелки на его торцах были направлены вниз, выдавить цангу из вала, промыть ее бензином или бензолом, а затем просушить на воздухе;

- вставить в цангу шарик и установить цангу в вал машины;
- установить корпус на штифты, запрессованные в плиту машины, вставить в него три шарика и кольцо, залить смазочный материал так, чтобы шарики были полностью покрыты им (при испытании пластичного смазочного материала его наносят шпателем, не допуская пустот), после чего, входящим в комплект машины рожковым ключом затянуть накидную гайку;
- установить корпус в машину и поставить подставку на место;
- перевести рычаг подпорки в нижнее (рабочее) положение;
- установить гиредержатель на соответствующее деление рычага в зависимости от требуемой величины осевой нагрузки (в соответствии с табл. 1), после чего поставить на гиредержатель необходимый набор гирь;
- проверить горизонтальность рычага и в случае необходимости произвести регулировку длины толкателя в соответствии с 2.2.5;
- накинуть тягу на крючок рукоятки корпуса;
- закрыть защитный кожух.

3.2. При проведении испытаний при повышенной температуре смазочного материала необходимо установить требуемое значение температуры.

Требуемое значение температуры узла трения устанавливается следующим образом:

- устанавливается переключатель НАГРЕВ в положение ВКЛ;
- на панели измерителя-регулятора микропроцессорного ТРМ101-СИ (далее ТРМ101) контролировать вывод на индикатор текущего значения температуры (цифры красного цвета), временно нажать кнопку ПРОГ, на индикаторе отобразится ранее установленное значение температуры (цифры зеленого цвета);
- установить новое значение температуры, выбирая требуемое число, кнопками  и  через 1-2 с прибор перейдет в рабочий режим и, в случае отклонения заданной температуры от измеренной, на нагреватель будет выдаваться или сниматься напряжение питания.

После достижения заданной температуры можно производить испытания смазочных материалов.

При работе на повышенной температуре во избежание ожогов следует использовать защитные рукавицы ГОСТ 12.4.010–75.

3.3. Установить требуемое время испытаний переключением переключателя ВРЕМЯ.

Время испытаний устанавливается в соответствии с ГОСТ 9490–75 в зависимости от выбранного вида испытаний. В зависимости от положения тумблера ВРЕМЯ необходимо вызвать на индикатор микропроцессорного реле времени двухканального УТ24 индикацию рабочего канала, что позволит отслеживать время, оставшееся до конца испытаний. При переключении переключателя ВРЕМЯ на панели управления машины в положение 10 С необходимо нажать кнопку  на панели микропроцессорного реле добиться загорания индикатора 1 КАН на панели микропроцессорного реле, при переключении переключателя ВРЕМЯ в положение 60 МИН – индикатора 2 КАН.

3.4. Нажать кнопку ПЕРЕГРУЗКА СБРОС а затем кнопку ПУСК на панели управления машины.

3.5. После остановки машины охладить корпус ниже 40 °С и слить жидкий смазочный материал или снять ватным тампоном пластичный смазочный материал с участков трения на нижних шариках, определить показатели износа шариков в соответствии с ГОСТ 9490–75.

В случае останова испытаний за счет превышения допустимого момента трения и включения индикации кнопки ПЕРЕГРУЗКА СБРОС, необходимо нажать кнопку.

3.6. После проведения испытаний перевести рычаг подпорки в верхнее положение (снять нагрузку с узла трения), все детали машин, с которыми соприкасался смазочный материал, промыть бензином или бензолом, выключить автомат.

Таблица А1

Зависимость величины осевой нагрузки от установленной массы гирь

Осевая нагрузка по ГОСТ 9490–75				Положение гире-держателя (индекс на рычаге)	Суммарная масса (с учетом гире-держателя), кг	Количество гирь с указанным весом				
Ряд 1		Ряд 2				0,1 кг	0,5 кг	1,0 кг	2,0 кг	5,0 кг
П	кгс	11	кгс							
59	6.0			6	1,0	-	-	-	-	-
		69	7.0	7	1,0	-	-	-	-	-

Осевая нагрузка по ГОСТ 9490–75				Положение гиредержателя (индекс на рычаге)	Суммарная масса (с учетом гиредержателя), кг	Количество гирь с указанным весом				
Ряд 1		Ряд 2				0,1 кг	0,5 кг	1,0 кг	2,0 кг	5,0 кг
II	кгс	11	кгс							
78	8.0			8	1,0	-	-	-	-	-
		88	9.0	9	1,0	-	-	-	-	-
98	10.0			10	1,0	-	-	-	-	-
		103	10,5	7	1,5	-	1	-	-	-
		108	11,0	11	1,0	-	-	-	-	-
		118	12.0	12	1,0	-	-	-	-	-
127	13.0			13	1,0	-	-	-	-	-
		132	13,5	9	1,5	-	1	-	-	-
		137	14,0	14	1,0	-	-	-	-	-
		147	15,0	15	1,0	-	-	-	-	-
157	16.0			16	1,0	-	-	-	-	-
		167	17,0	17	1,0	-	-	-	-	-
		176	18,0	18	1,0	-	-	-	-	-
		186	19,0	19	1,0	-	-	-	-	-
196	20.0			20	1,0	-	-	-	-	-
		205	21,0	7	3,0	-	-	-	1	-
		216	22,0	11	2,0	-	-	1	-	-
		225	23,0	10	2,3	3	-	1	-	-
235	24.0			12	2,0	-	-	1	-	-
		255	26,0	13	2,0	-	-	1	-	-
		274	28,0	14	2,0	-	-	1	-	-
		294	30,0	15	2,0	-	-	1	-	-
314	32.0			16	2,0	-	-	1	-	-
		333	34,0	17	2,0	-	-	1	-	-
		353	36,0	18	2,0	-	-	1	-	-
		372	38,0	19	2,0	-	-	1	-	-
392	40.0			20	2,0	-	-	1	-	-
		416	42,5	17	2,5	-	1	1	-	-
		441	45.0	18	2,5	-	1	1	-	-

Осевая нагрузка по ГОСТ 9490–75				Положе- ние ги- редержате- ля (ин- декс на рычаге)	Суммар- ная масса (с учетом ги- редержате- ля), кг	Количество гирь с указанным весом				
Ряд 1		Ряд 2				0,1 кг	0,5 кг	1,0 кг	2,0 кг	5,0 кг
II	кгс	11	кгс							
		465	47,5	19	2,5	-	1	1	-	-
490	50.0			20	2,5	-	1	1	-	-
		519	53.0	10	5,3	3	-	-	2	-
		549	56.0	16	3,5	-	1	-	1	-
		588	60.0	10	6,0	-	-	-	-	1
617	63.0			18	3,5	-	1	-	1	-
		657	67.0	10	6,7	2	1	-	-	1
		696	71.0	10	7,1	1	-	1	-	1
		735	75.0	15	5,0	-	-	-	2	-
7X4	80.0			20	4.0	-	-	1	1	-
		823	84.0	14	6.0	-	-	-	-	1
		872	89.0	10	8.9	4	1	-	1	1
		921	94.0	20	4.7	2	1	1	1	-
980	100.0			20	5.0	-	-	-	2	-
		1039	106.0	20	5,3	3	-	-	2	-
		1098	112,0	16	7,0	-	-	1	-	1
		1166	119.0	17	7,0	-	-	1	-	1
1235	126.0			18	7,0	-	-	1	-	1
		1303	133.0	19	7,0	-	-	1	-	1
		1381	141.0	10	14,1	1	-	1	1	2
		1470	150.0	20	7,5	-	1	1	-	1
1568	160.0			20	8,0	-	-	2	-	1
		1646	168.0	14	12,0	-	-	1	-	2
		1744	178.0	10	17,8	3	1	1	-	3
		1842	188.0	20	9,4	4	-	1	1	1
1960	200.0			20	10,0	-	-	-	2	1
		2067	211.0	10	21,1	1	-	-	-	4

Осевая нагрузка по ГОСТ 9490–75				Положение гиредержателя (индекс на рычаге)	Суммарная масса (с учетом гиредержателя), кг	Количество гирь с указанным весом				
Ряд 1		Ряд 2				0,1 кг	0,5 кг	1,0 кг	2,0 кг	5,0 кг
П	кгс	11	кгс							
		2195	224.0	16	14.0	-	-	1	1	2
		2323	237,0	15	15,8	3	1	-	2	2
2450	250.0			20	12.5	-	1	1	-	2
		2607	266.0	19	14.0	-	-	1	1	2
		2764	282,0	20	14,1	1	-	1	1	2
		2930	299.0	13	23.0	-	-	-	2	4
3087	315.0			15	21.0	-	-	-	-	4
		3283	335.0	10	33,5	-	1	-	1	6
		3479	355.0	10	35,5	-	1	-	2	6
		3685	376.0	16	23,5	-	1	-	1	4
3920	400.0			20	20.0	-	-	-	2	3
		4136	422.0	20	21,1	1	-	-	-	4
		4381	447.0	15	29,8	3	1	1	1	5
		4635	473.0	10	47,3	3	-	-	3	8
4900	500.0			20	25,0	-	-	-	2	4
		5204	531.0	18	29,5	-	1	1	1	5
		5508	562.0	20	28,1	1	-	-	1	5
		5841	596.0	20	29,8	3	1	1	1	5
6174	630.0			20	31,5	-	1	-	-	6
		6546	668.0	20	33,4	4	-	-	1	6
		6938	708.0	20	35,4	4	-	-	2	6
		7350	750.0	20	37,5	-	1	1	-	7
7X40	800.0			20	40,0	-	-	-	2	7
		8232	840.0	20	42,0	-	-	1	-	8
		8722	890.0	20	44,5	-	1	1	1	8
		9232	942.0	20	47,1	1	-	-	3	8
9S00	1000.0			20	50,0	-	-	3	3	8

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ИМ-01

1. Назначение машины

Машина предназначена для испытания металлических материалов и металлических покрытий на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы в соответствии с ГОСТ 23.208–79.

2. Устройство и работа машины

2.1. Принцип действия машины заключается в том, что при одинаковых условиях производят трение образцов исследуемого и эталонного материалов об абразивные частицы, подаваемые в зону трения и прижимаемые к образцу вращающимся резиновым роликом, измеряют износ образцов испытуемого и эталонного материалов, а износостойкость испытуемого материала оценивают путем сравнения его износа с износом эталонного образца.

Машина не предназначена для испытания материалов и покрытий твердостью более 1400 НВ и пористых материалов со средним размером пор более 0,1 мм, а также материалов и покрытий с твердостью, изменяющейся на глубине 0,3 мм более чем на 10 %.

2.2. Схема испытательной установки приведена на рис. 1.

Испытания проводят на испытательной установке, содержащей привод 7, обеспечивающий вращение вокруг горизонтальной оси резинового ролика 6, образцедержатель 2, рычаг 3, прижимающий образец 1 к ролику, устройство 5, дозирующее подачу абразивных частиц в зону трения по направляющему лотку 4, устройство 8 для контроля суммарного количества оборотов ролика в процессе испытаний.

Диаметр ролика должен быть в диапазоне 48–50 мм, ширина ролика – $(15 \pm 0,1)$ мм, твердость материала ролика 78–85 ед. по ГОСТ 263-75, относительное остаточное удлинение материала ролика при разрыве 15 % – 20 % по ГОСТ 270–75, угол наклона направляющего лотка (45 ± 2) , торцевые зазоры между стенками образцедержателя и роликом $b = (3,0 \pm 0,1)$ мм. Непараллельность оси ролика рабочей поверхности образца не более 0,1 мм.

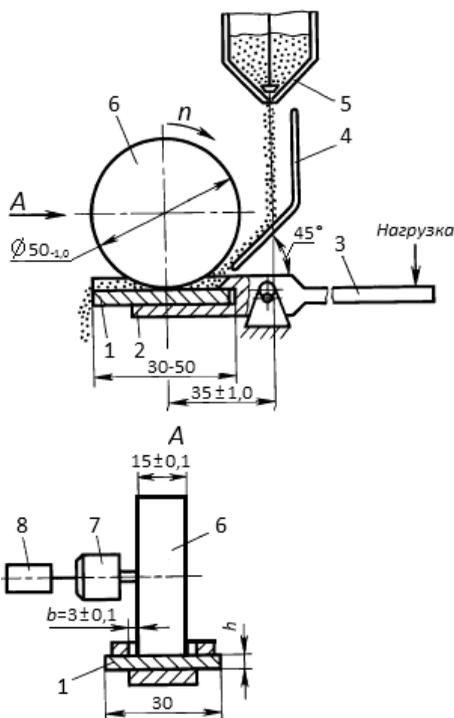


Рис. 1. Схема испытательной установки

Абразивный материал – электрокорунд зернистостью 16-11 по ГОСТ 3647–80 с относительным содержанием влаги не более 0,15 % – используют при общей сравнительной оценке износостойкости.

При оценке износостойкости в конкретных условиях изнашивания допускается использовать абразивный материал, соответствующий материалу, воздействию которому при эксплуатации, но с размером зерен не более 1,0 мм.

В этом случае характеристики абразивного материала приводят в протоколах испытаний. При применении стандартного абразивного материала указывают номер соответствующего стандарта. При применении нестандартного абразивного материала в протоколе испытаний указывают вид абразивного материала, месторождение, максимальный и минимальный размеры зерен абразивного материала, их твердость, среднюю удельную поверхность частиц и другие данные, необходимые для идентификации абразивного материала.

Повторное использование абразивного материала не допускается.

Образцы исследуемых и эталонных материалов изготавливают в виде пластин шириной 30, длиной 30–50 мм и толщиной h не менее 1 мм с допусками на размеры по 7-му классу точности по ГОСТ 24642–81, ГОСТ 24643–81 и шероховатостью рабочей поверхности не ниже 7-го класса по ГОСТ 2789–73. Допускается повторное использование испытанных образцов в участках, не подвергшихся изнашиванию, а также после удаления механической или иной обработкой следов изнашивания, образованных в результате предыдущих испытаний.

Примечание. При необходимости проведения испытаний образца толщиной менее 1 мм для установки зажима образца допускается применение плоской стальной прокладки.

Эталонные образцы изготавливают из стали 45 по ГОСТ 1050–88 в отожженном состоянии с 190–200 HV.

Износ испытуемых и эталонных образцов определяют путем взвешивания до и после испытаний с погрешностью не более 0,1 мг. Потеря массы образца вследствие изнашивания при испытаниях должна составлять не менее 5 мг.

Промывочные жидкости: бензин по НТД; ацетон по ГОСТ 2768–84.

3. Подготовка к испытаниям

3.1. Перед испытаниями определяют твердость образцов по ГОСТ 2999–75. Отобранные образцы маркируют клеймением на нерабочих поверхностях.

3.2. Перед испытаниями проводят приработку ролика трением его о поверхность шлифовальной шкурки типа 2 по ГОСТ 6456–82 зернистостью 8-П по ГОСТ 3647–80, закрепленной в образцедержателе на плоской стальной пластине. Приработку проводят при нагрузке на ролик (22 ± 1) Н до полного прилегания к поверхности по всей длине образующей ролика.

После приработки ролик промывают в ацетоне, указанном в разделе 2.

На рабочей поверхности ролика после приработки не допускаются отличимые невооруженным глазом риски.

3.3. Проверяют влажность абразивного материала по ГОСТ 5382–91 и при необходимости доводят ее до соответствия требованиям разделе 2.

3.4. Образцы последовательно промывают жидкостями, указанными в разд. 2, просушивают на воздухе и взвешивают.

4. Проведение испытаний

4.1. Образец устанавливают в образцедержателе испытательной установки.

4.2. Прижимают образец рычагом 3 (см. рис.) к ролику с усилием $(44,1 \pm 0,25)$ Н.

4.3. Ролик приводят во вращение в направлении, указанном на чертеже, с частотой $n = (60 \pm 2)$ мин⁻¹ (об/мин). Включают дозирующее устройство, обеспечивающее непрерывную подачу абразивного материала в зону трения.

Непрерывность подачи абразивного материала в процессе испытаний контролируют по наличию абразивного материала по всей ширине ролика.

4.4. Испытания образца из исследуемого материала продолжают в течение времени, соответствующего количеству оборотов ролика, указанному в таблице. Испытания образца из эталонного материала проводят при 600 оборотах ролика. Отсчет оборотов проводят от момента начала подачи абразивного материала.

Твердость образца HV	Количество оборотов ролика
До 400	600
400 Ш	1000
Более 800	3600

4.5. По окончании испытаний останавливают привод, снимают нагрузку, освобождают образец, промывают последовательно в промывочных жидкостях и взвешивают в соответствии с требованиями раздела 2. При массе образца менее 5 мг устанавливают новый образец и испытания проводят в соответствии с п.п. 3.1–3.5 в течение времени, соответствующего удвоенному количеству оборотов ролика.

При установке и съеме образцов не допускается повреждение их поверхностей.

4.6. Испытание образца из эталонного материала проводят в соответствии с п.п. 4.1–4.5.

4.7. Результаты взвешивания образцов до и после испытаний заносят в протокол.

4.8. Испытания повторяют для 3 испытуемых и 3 эталонных образцов. При испытаниях пористых неоднородных сплавов, спеченных материалов и неоднородных наплавов проводят испытания 5 испытываемых и 3 эталонных образцов.

4.9. Среднеарифметическое значение потери массы эталонных образцов по результатам испытаний в соответствии с п.п. 4.1–4.8 должно находиться в пределах $(67 \pm 6,1)$ мг.

Если среднеарифметическое значение потери массы выходит за эти пределы, то проверяют правильность выполнения условий испытаний и после приведения их в соответствие с указанными требованиями повторяют испытания.

4.10. После каждых 12 испытаний проверяют наружный диаметр ролика и при диаметре менее 48 мм его заменяют. Для нового ролика производят приработку в соответствии с п. 3.2.

5. Обработка результатов испытаний

5.1. По результатам взвешивания образцов до и после испытаний определяют среднеарифметическое значение потери массы $\overline{g_s}$ эталонных образцов и среднеарифметическое значение $\overline{g_u}$ потери массы образцов исследуемого материала по формулам:

$$\overline{g_s} = \frac{\sum_{i=1}^3 \overline{g_{si}}}{3},$$

$$\overline{g_u} = \frac{\sum_{i=1}^m \overline{g_{ui}}}{m},$$

где $\overline{g_{si}}$, $\overline{g_{ui}}$ – значение потерь массы при испытаниях эталонных образцов и образцов исследуемого материала, г;

m – количество образцов исследуемого материала.

Относительную износостойкость (K_u) исследуемого материала вычисляют по формуле

$$K_{\text{и}} = \frac{\bar{g}_3 \rho_{\text{и}} N_{\text{и}}}{g_{\text{и}} \rho_3 N_3},$$

где $\rho_3, \rho_{\text{и}}$ – плотности эталонного и исследуемого материалов, г/см²;
 $N_3, N_{\text{и}}$ – количество оборотов ролика при испытаниях эталонного и исследуемого материалов.

Результаты расчетов заносят в протокол. Указанные вычисления проводят с погрешностью не более 0,0001 г.

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОФИЛОМЕТРА-ПРОФИЛОГРАФА TIME 3220

1. Назначение прибора

Профилометр-профилограф TIME 3220 предназначен для работы в условиях производства и может быть использован для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей, в научных лабораториях и отделах технического контроля.

Профилометр производит расчет параметров шероховатости в соответствии с выбранной методикой и отображает на жидкокристаллическом экране все измеренные параметры и профили.

2. Технические характеристики прибора

Диапазон измерения иглы датчика	400 мкм	
Радиус измерительного пера	5мкм /2мкм	
Материал измерительного пера	Алмазная игла	
Измерительное усилие	4 мН / 0,75 мН	
Угол измерительного пера	90 градусов / 60 градусов	
Максимальная длина прохода	19 мм	
Длина оценки	0,08 мм, 0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм, авто	
Скорость перемещения	0,08 мм – 0,25 мм/с	
	0,25 мм – 0,25 мм/с	
	0,8 мм – 0,5 мм/с	
	2,5 мм – 1мм/с	
	Возвращение – 1 мм/с	
Точность	±10 %	
Повторяемость	< 6 %	
Количество длин оценки	от 1 до 5 длин (выбираемая)	
Дискретность	Диапазон измерений	Дискретность
	±50 мкм	0,001 мкм
	±200 мкм	0,008 мкм

3. Принцип измерений

При измерении шероховатости на поверхности детали располагают датчик и проводят им по поверхности с постоянной скоростью. Датчик воспринимает неровности поверхности острым пером. Неровности поверхности вызывают смещения в датчике, в результате чего изменяется индуктивность катушки, которая генерирует аналоговый сигнал,

пропорциональный размерам неровностей. Сигнал поступает на фазочувствительный выпрямитель. После усиления и преобразования этого сигнала данные поступают в систему сбора данных. Собранные данные подвергаются цифровой фильтрации и обработке. На основании этих данных производится расчет параметров шероховатости. Результаты измерения можно считать на жидкокристаллическом дисплее, распечатать на принтере и передать на персональный компьютер.

4. Конструкция прибора

Основные составные части прибора показаны на рис. 1–4.

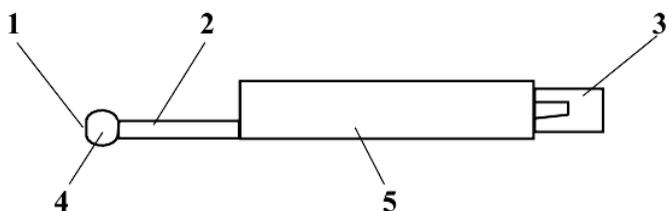


Рис. 1. Датчик TIME 3220:

1 – скользящий элемент; 2 – защитная оболочка; 3 – разъем; 4 – перо; 5 – корпус

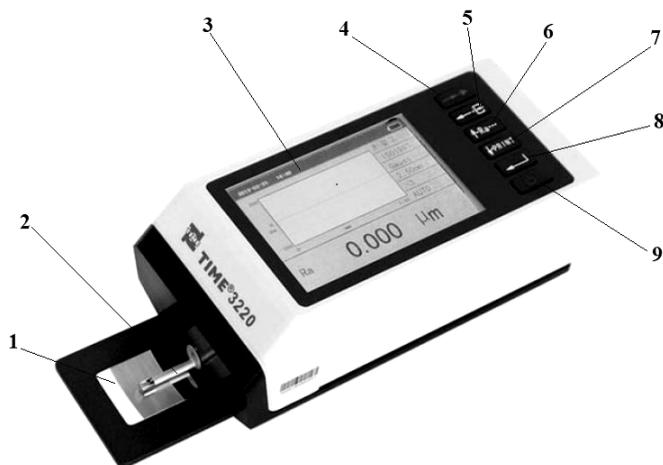


Рис. 2. Общий вид прибора TIME 3220:

1 – образцовая пластина; 2 – датчик; 3 – сенсорный экран; 4 – старт; 5 – меню; 6 – дисплей; 7 – печать; 8 – вход; 9 – Вкл / Выкл

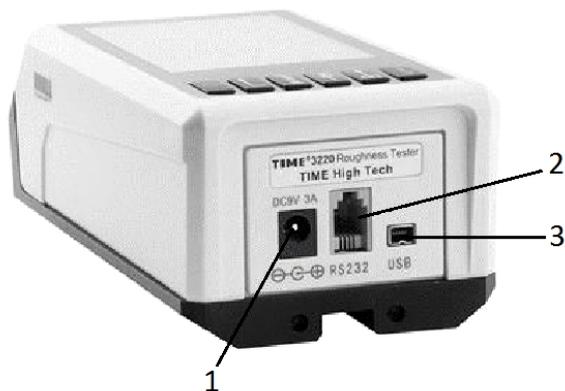


Рис. 3. Общий вид прибора TIME 3220 (вид сбоку):
1 – питание; 2 – RS232; 3 – USB

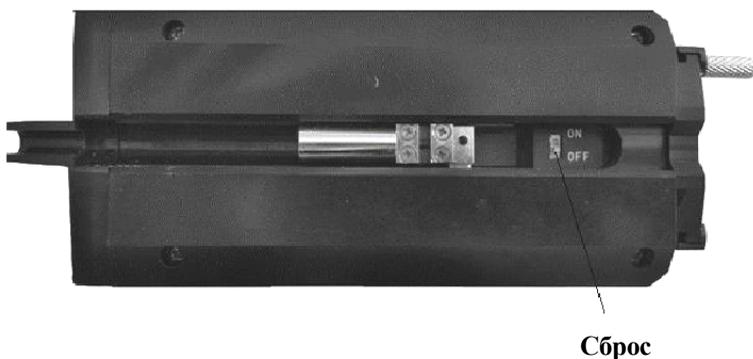


Рис. 4. Общий вид прибора (вид снизу)

5. Подготовка прибора к работе

5.1. Установка и снятие датчика

При установке датчика на прибор TIME 3220 возьмите в одну руку прибор, в другую руку датчик, вставьте датчик в паз на дне прибора (разъемом в разъем), как показано на рис. 5, и с легким нажимом вставьте его до конца.

При отсоединении датчика возьмите прибор в одну руку, другой рукой возьмитесь за корпус датчика или за основание защитной трубки и плавно вытяните его.

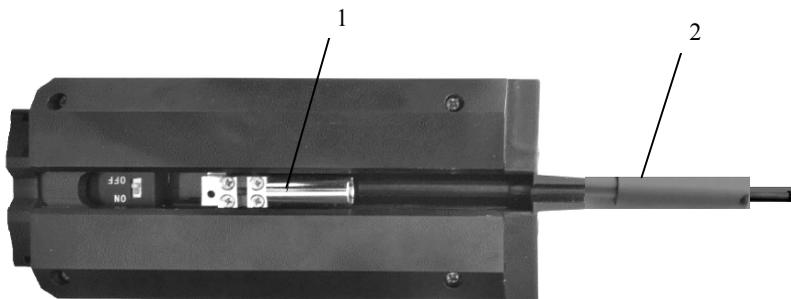


Рис. 5. Установка и снятие датчика TIME 3220:
1 – паз; 2 – датчик

Внимание:

1. Перо датчика является основной частью данного прибора и требует особого внимания.
2. При подсоединении и отсоединении к перу нельзя прикасаться, чтобы не повредить его.
3. Соединение датчика должно быть надежным.

5.2. Зарядное устройство и зарядка аккумуляторной батареи

Аккумуляторная батарея установлена внутри прибора. Когда напряжение на батарее становится слишком низким (при этом на экране мерцает символ батарейки, сигнализируя о низком напряжении) прибор, при первой возможности, необходимо поставить на зарядку. Штекер зарядного устройства вставляют в разъем питания прибора. Зарядный блок подсоединяют к сети 220 В 50 Гц, и процесс зарядки начинается. Время зарядки примерно 3,5 часа.

6. Проведение измерений

6.1. Подготовка к измерениям

6.1.1. Включение прибора:

- а. Включите прибор, чтобы проверить состояние аккумуляторных батарей.
- б. Очистите поверхность детали, которая подлежит измерениям.
- с. Правильно расположите прибор на измеряемой поверхности, руководствуясь рис. 6 и 7. Его положение должно быть устойчивым и надежным.

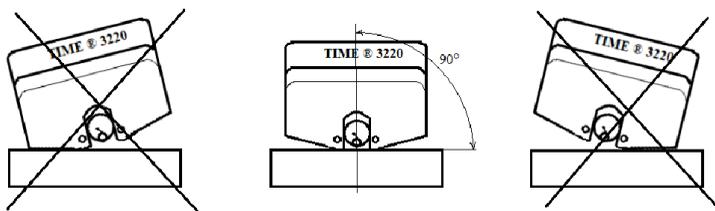


Рис. 6. Правильное положение прибора TIME 3220

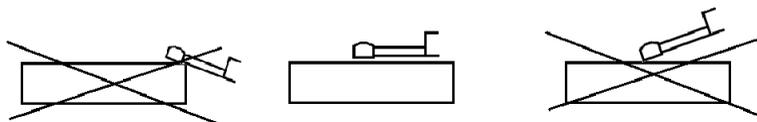


Рис. 7. Правильное положение прибора TIME 3220 (вид сбоку)

В соответствии с рис. 8 траектория движения датчика должна быть перпендикулярна по отношению к направлению линий обработки на измеряемой поверхности.

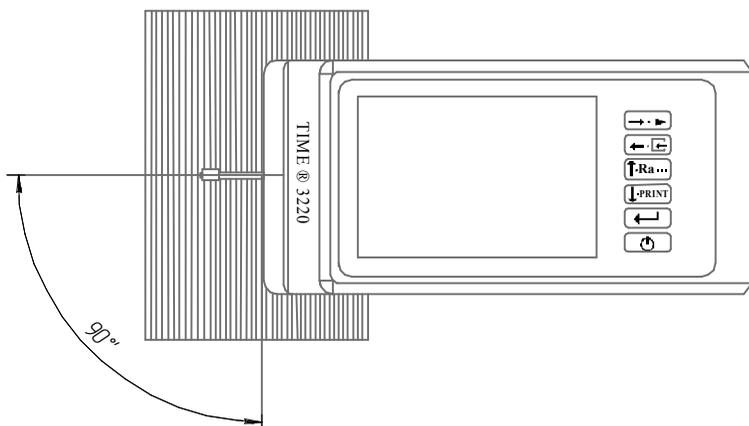


Рис. 8. Правильное направление измерений TIME 3220

6.2. Базовый режим измерения

Для того чтобы включить прибор, нажмите клавишу , при этом на ЖК дисплее отобразится модель прибора, его название и информация о заводе изготовителе, а затем перейдет к базовому режиму измерений.

Рекомендация:

Параметры базового режима измерения выводятся при самом первом включении (или после возврата в исходное состояние) – это установки, принимаемые прибором по умолчанию. При следующих включениях прибор отображает условия измерения и данные, которые были на момент его последнего выключения. Базовый режим измерений устанавливается автоматически при каждом включении.

В базовом режиме измерений можно выполнить следующие операции:

Измерения

Нажмите клавишу , чтобы начать измерения.

Датчик проходит по поверхности.

Сбор данных окончен, осуществляется фильтрация.

Фильтрация закончена, происходит расчет параметров.

Измерения окончены, возврат к базовому режиму измерений и отображение результата на дисплее.

Вход в меню

Для входа в меню надо нажать клавишу . Для того чтобы перейти в подменю, необходимо нажать кнопку на сенсорном экране либо подтвердить свой выбор, нажав клавишу . Для навигации по меню используйте клавиши  . Для выхода из меню нажмите клавишу .



Рис. 9. Общий вид меню

Отображение параметров

Нажмите клавишу , чтобы посмотреть все параметры, включая профиль с фильтрацией, профиль без фильтрации, кривая Аббота и др. Для того чтобы вернуться к базовому режиму, нажмите клавишу .

Положение пера

Для того чтобы посмотреть положение пера датчика, нажмите клавишу , для возврата в базовый режим нажмите любую клавишу кроме клавиши включения питания.

Печать

После того как все измерения окончены нажмите клавишу  для печати параметров.

6.3. Изменение условий измерения

Находясь в базовом режиме измерений, нажмите на клавишу меню  для входа в режим меню, после этого нажмите на сенсорном экране иконку «Setting» или нажмите клавишу. Для выбора пункта меню нажмите на клавиши прокрутки  либо на сенсорном экране ▲▼, а для вывода на экран отдельного пункта меню нажмите на клавишу ввода. При отображении отдельного пункта меню все условия измерений можно изменить.

6.3.1. Стандарт

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к Standard, выбрать необходимый стандарт либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню Standard, нажать клавишу для входа в меню , нажать   для выбора стандарта, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.2. Профиль

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к Profile, выбрать необходимый профиль либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню Profile, нажать клавишу  для входа в меню, нажать   для выбора профиля, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.3. Фильтр

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к Filter, выбрать необходимый фильтр либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню Filter, нажать клавишу  для входа в меню, нажать   для выбора фильтра, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.4. Базовая длина

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к λc , выбрать необходимую базовую длину либо выйти нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню λc , нажать клавишу  для входа в меню, нажать   для выбора базовой длины, нажать клавишу  для подтверждения,

нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.5. Длина оценки

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к In, выбрать необходимую длину оценки либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню In, нажать клавишу для входа в меню , нажать   для выбора длины оценки, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.6. Диапазон

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к Range, выбрать необходимый диапазон либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню, при помощи клавиш   выбрать меню Range, нажать клавишу для входа в меню , нажать   для выбора диапазона, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.7. Параметр шероховатости

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к DisplayRa, выбрать необходимый параметр либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню DisplayRa, нажать клавишу для входа в меню , нажать   для выбора диапазона, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.3.8. Pmr/Rmr, Pmr(c)/Rmr(c)/tp, Htp, Pδc/Rδc

Параметры Pmr/Rmr, Pmr(c)/Rmr(c)/tp, Htp, Pδc/Rδc, Pc можно установить для расчета.

♦ Прикоснитесь /, зайдите в меню Details Set для того, чтобы выставить необходимые параметры расчета.

6.4. Системные настройки

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к System, чтобы войти в меню.

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню при помощи клавиш   выбрать меню System, нажать клавишу  для входа в меню.

6.4.1. Единицы измерения, Язык и Автоматическое отключение

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к System, войти в меню Measure Unit или Language, или Shutdown, выбрать необходимый параметр либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу для входа в меню System при помощи клавиш   выбрать меню Measure Unit или Language, или Shutdown, нажать клавишу для входа в меню, нажать   для выбора параметра, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.4.2. Дата / Время

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к System, войти в меню Date / Time установить дату и время, либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу для входа в меню System при помощи клавиш  Ra...  PRINT, выбрать меню Date / Time, нажать клавишу для входа в меню , нажать   для установки года, месяца, часа, минуты, секунды, нажать клавишу  для подтверждения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

♦ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.4.3. Калибровка сенсорного экрана

Войдите в меню Toucher Cal, после этого появится значок «+», при нажатии на который происходит калибровка.

6.5. Работа с базой данных

В данном приборе есть внутренняя память, в которой можно сохранять, удалять и просматривать данные. Для того чтобы войти, нажмите клавишу , после выберите подменю Meas. Data.

6.5.1. Чтение данных

♦ На сенсорном экране: прикоснуться к Read, выбрать необходимый файл, либо выйти, нажав .

♦ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню, при помощи клавиш  Ra...  PRINT выбрать меню Read, нажать клавишу для входа в меню , нажать  Ra...  PRINT для выбора нужного файла, нажать клавишу  для подтверждения и просмотра, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

◆ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

6.5.2. Сохранение данных

После окончания одного измерения данные и условия могут быть сохранены в файле, для этого:

◆ На сенсорном экране: прикоснуться к Save, выбрать пустой файл, после того как файл будет сохранен, автоматически появится время и дата сохранения файла. Чтобы выйти, нажмите .

◆ С помощью клавиш: Нажать клавишу  для входа в меню, при помощи клавиш  выбрать меню Save, нажать клавишу  для входа в меню, нажать  для выбора пустого файла, нажать клавишу  для сохранения, нажать клавишу  для выхода. Еще раз нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

◆ В любое время можно нажать клавишу , чтобы вернуться в базовый режим.

Примечание. Если вы хотите сохранить данные в не пустом файле (там уже сохранены данные). Для начала вам придется удалить старые данные, а после уже сохранять новые.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

**ОСНОВЫ ТРИБОТЕХНИКИ.
ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Составители:

Толочко Николай Константинович,
Тарасенко Виктор Евгеньевич

Ответственный за выпуск *В. Е. Тарасенко*
Корректор *Г. В. Анисимова*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*

Подписано в печать 30.03.2020. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 7,20. Уч.-изд. л. 5,63. Тираж 90 экз. Заказ 36.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№1/359 от 09.06.2014.
№2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.