

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Будко С.И., Киселева Л.С., Кузюр В.М.

Триботехника

Методические указания к лабораторным работам

БРЯНСК 2021

УДК 539.92 (07)

ББК 34.41

Б 90

Будко, С. И. Триботехника: методические указания к лабораторным работам / С.И. Будко, Л.С. Киселева, В.М. Кузюр. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. – 85 с.

Методические указания предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Рецензент: к.э.н., доцент Гринь А.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол № 4 от 21 января 2021 года.

© Брянский ГАУ, 2021

© Будко С.И., 2021

© Киселева Л.С., 2021

© Кузюр В.М., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ..... | 4 |
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| Лабораторная работа 1. МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ | 7 |
| Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ..... | 16 |
| Лабораторная работа 3. ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОГЕОМЕТРИИ В ПРОЦЕССЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ТРЕНИЯ..... | 23 |
| Лабораторная работа №4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ | 29 |
| Лабораторная работа №5. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ | 35 |
| Лабораторная работа №6. ИЗУЧЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВОМ | 44 |
| Лабораторная работа №7. ИЗУЧЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ | 48 |
| Лабораторная работа №8. ОЦЕНКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ | 53 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 59 |

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

A - площадь; A_a - номинальная, A_c - контурная,
 A_c - фактическая площадь контакта (ФПК);
 F_T - сила трения;
 H - микротвердость; HB - по Брюнелю;
 I_h - интенсивность изнашивания (безразмерная), I_g - по массе;
 L - длина пути скольжения;
 M_{TP} - момент трения;
 N, P - нагрузка;
 R_a - среднее арифметическое отклонение от средней линии профиля поверхности;
 R_{max} - максимальная высота микронеровностей профиля;
 R_c - высота неровностей профиля;
 S - средний шаг неровностей по вершинам профиля;
 S_m - средний шаг неровностей профиля;
 V - объем.
 b - параметр кривой опорной поверхности (безразмерный);
 d - диаметр поверхности трения образец-контртело;
 f - коэффициент трения скольжения; f_k - трения качения;
 i - удельный износ; i_L - линейный, i_g - по массе;
 κ_n - коэффициент проскальзывания;
 l - длина базового профиля;
 m - масса;
 n - частота вращения;
 p - давление; p_a - номинальное; p_c - контурное; p_o - фактическое;
 r - радиус сферы, индентора и единичной микронеровности;
 t - время;
 t_p - относительная опорная длина профиля;
 v_c - скорость скольжения;
 v - параметр кривой опорной поверхности,
 γ - плотность.

ВВЕДЕНИЕ

Всесторонняя подготовка инженеров конструкторских и технологических специальностей для различных отраслей народного хозяйства предусматривает обязательное изучение методов повышения надежности и долговечности машин на основе достижений триботехники - науки о трении, смазке и изнашивании узлов и деталей машин.

В настоящее время особо актуальной является проблема увеличения ресурса машин за счет выполнения ремонтно-восстановительных работ изношенных узлов. Выход на новый уровень связан с поиском оптимальных решений при выборе материалов, конструкций и технологии ремонта узлов трения. Перспективными путями повышения долговечности является: использование при восстановлении износившихся поверхностей деталей новых композиционных, пористых самосмазывающихся металлических и полимерных материалов, обеспечивающих работоспособность машин в экстремальных условиях эксплуатации. Применение материалов, обладающих качественно новыми физико-механическими свойствами, многокомпонентных и многоуровневых покрытий, в том числе алмазоподобных, сочетающих высокую износостойкость и твердость с низким коэффициентом трения, антифрикционных адаптирующихся покрытий с эффектом самосмазывания при температурах до 800°C, а также современных смазочных материалов, обладающих реверсивными смазочными свойствами при циклических изменениях температуры, позволит повысить межремонтный ресурс машин и механизмов.

Выполнение лабораторных работ позволит закрепить у студентов теоретические знания и приобрести навыки по определению закономерностей трения и изнашивания твердых тел, свойств смазочных

материалов, на основании которых оцениваются их триботехнические свойства и определяются возможные области применения. Практикум предназначен для ознакомления студентов с порядком выполнения лабораторных работ и оформления отчетов по выполненной работе.

Студенты должны знать правила техники безопасности и строго соблюдать их при выполнении работ.

Практикум для проведения лабораторных и практических занятий, а также для самостоятельной работы по стандартизации и сертификации разработаны в соответствии с программой дисциплины "Метрология, стандартизация и сертификация" для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Для качественного выполнения лабораторных и практических работ их содержание приводится в логической последовательности и включает следующие части: цель работы; перечень необходимых нормативных документов; краткие теоретические сведения по теме; порядок выполнения работы; индивидуальные задания; форму отчета; контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

Для закрепления полученных знаний в Приложении приводятся тестовые задания для самостоятельной работы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен владеть: практическими навыками в области стандартизации и сертификации в условиях производства продукции питания; оценки уровня качества пищевой продукции.

ОПК-5 - способностью обоснованно выбирать материал и способы его обработку для получения свойств, обеспечивающих высокую надежность детали

ПК-3 - готовностью к обработке результатов экспериментальных исследований

Лабораторная работа № 1

МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомление с оборудованием для триботехнических испытаний, измерения силы трения; определение коэффициента трения, интенсивности изнашивания и температуры в контакте трущихся тел.

Оборудование: Машина для испытания материалов (металлов, сплавов и жестких конструкционных пластмасс) на трение и износ 2070 СМТ-1; весы аналитические ВЛА-200М; часы

Студент должен:

знать:

- основные триботехнические термины (трение, изнашивание, износ и др.);
- основные методики исследования процессов трения и изнашивания;
- методы определения износа трущихся тел;
- устройство и принцип работы машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;

уметь.

- подготавливать к работе машину для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;
- снимать и оценивать показания индикаторов машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;
- выполнять расчеты износостойкости образцов по данным эксперимента и определять классы их износостойкости.

1 Краткие теоретические сведения

Методы и средства испытаний на трение и износ

В трибологии используется более 150 методов испытаний материалов и узлов трения, которые регламентируются отечественными и зарубежными стандартами: ГОСТ, ASTM, SAE, ISO и DIN. Эти методы базируются на теориях моделирования, системного анализа и математической статистики.

Основным методом прогнозирования качества трибосопряжений является трибомониторинг. Он охватывает совокупность средств методов испытаний и диагностики, непрерывного контроля и регулирования характеристик подвижных сопряжений. В трибомониторинге выделяют два направления: трибometriю и трибодиагностику.

Трибометрия включает методы и средства измерения основных параметров фрикционного контакта (сила трения, износ, температура, шероховатость, контактная деформация, контурная и фактическая площади касания) как в процессе трения, так и после фрикционного взаимодействия.

Трибодиагностика - это совокупность методов и средств непрерывного контроля состояния подвижных соединений по продуктам изнашивания, магнитной индукции, акустической эмиссии и т. п.

Трибомониторинг является основной частью триботехнических испытаний. Цель этих испытаний - установить совместимость выбранных материалов в паре трения, включая смазочный материал и привести их фрикционно-износные характеристики, которые сопоставляются с классами износостойкости (см. приложение 2), с базами данных по коэффициентам трения материалов и с техническими требованиями к конкретным узлам трения с целью выбора материалов, для которых и выполняются испытания.

В зависимости от назначения, применяемые в трибологии средства испытаний можно условно разделить на три большие группы:

- приборы для определения физико-механических и теплофизических свойств поверхностей контактирующих элементов пары трения (например, твердомеры, дилатометры, приборы для определения затухающих колебаний, дефектоскопы и т. п.);

- лабораторные машины и установки для испытаний материалов на трение и износ;

- стенды для испытания узлов трения.

Машины трения и стенды, как правило, имеют блочный принцип построения и включают ряд функциональных блоков.

1. Испытательный блок, который предназначен для формирования испытываемой пары трения. Он должен обеспечивать точную, надежную и достаточно быструю установку образцов, однозначность и определенность в реализации расчетной схемы испытаний, включая равномерность нагрузки и износа образцов за счет их самоустанавливаемости или других мер. Соединения испытательного блока не должны иметь зазоров, вызывающих дополнительные динамические нагрузки на элементы конструкции. Чаще всего должна обеспечиваться возможность испытаний образцов различных типов по нескольким схемам, т. е. универсальность и возможность быстрой переналадки. Испытательный блок обычно связан с блоком привода, с измерительным блоком и с нагружающим блоком.

2. Блок привода предназначен для сообщения движения одному или нескольким элементам (или образцам), которые входят в узел трения. Он обычно включает электродвигатель (иногда гидродвигатель), передаточный механизм, кинематика которого определяется фактором относительного движения пары трения. Привод должен обеспечивать

плавность движения, без рывков и ударов, широкий диапазон регулирования скорости движения или частоты вращения, устойчивое поддержание заданной программой испытания скорости движения или частоты вращения образца.

3. Блок нагружения предназначен для создания заданной нагрузки на образцы, постоянной или переменной, и поддержания этой нагрузки на заданном уровне. Для этого используют рычажно-гравитационные, пружинные, пневматические, электромагнитные и гидравлические механизмы, которые должны обеспечивать плавное приложение и стабильность режима нагружения независимо от изменений в процессах трения и изнашивания.

4. Блок накопления кинетической энергии (на машинах нестационарного трения), который выполняется в виде набора маховых масс, присоединяемых по мере необходимости к валу машины, на котором закреплен один из испытуемых образцов.

5. Блок для имитации специальной среды (газовой, жидкостной) при испытаниях пары трения. Камера этого блока служит для проведения испытаний в условиях повышенных или пониженных температур, вакуума, загрязнения абразивом, смазочного материала и т. п. Часто она выполняет также защитную функцию, ограждая оператора от воздействия продуктов износа, шума и др.

6. Блоки управления и измерения. Они обычно электрически связаны с машиной и компьютером для обработки информации, регистрируемой в процессе испытания: момента (силы) трения, силы нормального давления, скорости, пути трения, температуры в заданной зоне, работы трения, износа.

АО «Точприбор» в настоящее время выпускает серийно разработанные совместно с ИМАШ РАН триботехнические комплексы 2168

УМТ «Унитриб», ИИ-5018, 2070 СМТ-1 и другие модели, имеющие ряд сменных узлов, которые позволяют проводить испытания практически по всем схемам контактирования фрикционных элементов в парах трения, применяемых в машиностроении.

2 Порядок выполнения работы

1. Изучить методику проведения испытаний на машине СМТ-1 (Приложение 1, паспорт на машину трения СМТ-1).

2. Выполнить (вместе с преподавателем) следующие операции до установки образцов:

- выбрать схему испытаний «образец-контртело» по таблице 1.1;
- определить диапазон частоты вращения образцов (контртела) n ;
- установить необходимый шпиндель;
- подключить воду для охлаждения;
- установить требуемый коэффициент проскальзывания сменной шкива.

3. Выбрать образец согласно размерам, указанным в таблице 1.1, протереть поверхность трения тампоном, смоченным в растворе, определить его массу m_1 на весах ВЛА-200М.

Установить образец в держателе. Проверить индикатором биение образцов и их поворотом добиться наименьшего биения.

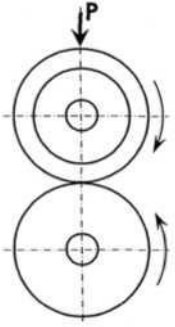
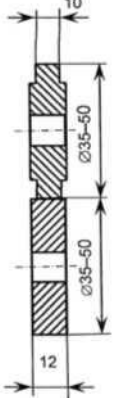
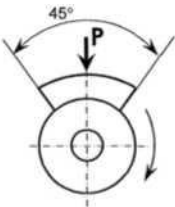
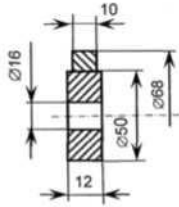
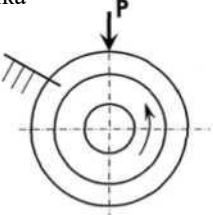
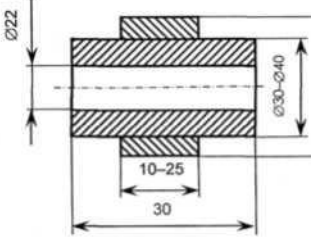
4. Выключателем подать напряжение на вход электрической схемы машины. Тумблерами, находящимися на передней панели, включить потенциометры, записывающие температуру в зоне трения и момент трения.

5. Установить переключатель рода работы (Приложение 1) в положение «Проверка» и осуществить тарировку системы измерения

момента трения. Для этого застопорить фиксатором диск датчика момента трения, на вал машины установить рычаг, уравновесить его и закрепить гайкой. Кнопкой установить диапазон измерения момента трения в положение «1». Резисторами, расположенными на панели потенциометра, установить положение «Нуль». На подвес рычага установить груз массой 5 кг ($M_{тр} = 20$ Нм) и резистором «Установка предела» довести стрелку прибора до деления «100». Снять груз и проконтролировать положение нуля. Последовательно увеличивая нагрузку путем установки на подвес грузов массой 0,25; 0,25; 0,5; 0,5 и 0,5 кг, записать показания прибора. Соответствующие моменты трения будут равны 1; 2; 4; 6; 8 и 10 Н·м. Тарировку провести три раза на диапазонах «I» и «II». Снять фиксатор диска (см. паспорт машины трения 2070 СМТ-1).

6. Установить переключатель рода работы (Приложение 1) в положение «Работа» и кнопкой запустить в работу электродвигатель (должна загореться сигнальная лампочка). В зависимости от выбранных режимов нагружения установить диапазоны измерения частоты вращения вала кнопкой (на положение «5» или «10») и кнопкой - «Момент трения» (на «1» или «2»); стрелку потенциометра 5 установить в положение «Нуль»; установить требуемую скорость вращения вала резисторами (грубо) и (точно), сверяясь с показаниями предварительно протарированного механическим тахометром вольтметра.

Таблица 1 - Варианты схем испытаний «образец – контртело»

| Схема испытаний | Размеры образцов |
|---|---|
| <p>Диск-диск</p>  |  |
| <p>Диск-колодка</p>  |  |
| <p>Вал-втулка</p>  |  |

7. Установить термомпару в отверстие образца, обойму с образцом закрепить на валу каретки.

8. Каретку до соприкосновения образцов опускать плавно, не допуская ударов.

9. Требуемую нагрузку задавать пружиной либо навесными грузами. Нагружение образцов вести плавно, вращая винт нагружения при вращении образцов, наблюдая за величиной момента трения по потенциометру.

10. Скорректировать частоту вращения вала резисторами.

11. Испытание образца на износ провести в течение времени $t = 40$ мин.

12. После окончания испытаний выключить машину (последовательность операций — обратная вышеописанной).

13. Провести оценку среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения момента трения и построить тарировочный график $M_{тр} = M(n')$,

где n' — показания по шкале потенциометра.

Рассчитать коэффициент трения.

14. Определить массу образца после истирания (m_2) и рассчитать интенсивность изнашивания по формуле:

$$I = (m_1 - m_2) / (L),$$

где L - длина пути скольжения ($L = \pi d n t$).

15. Сравнить полученное значение интенсивности изнашивания с данными таблицы приложения 1 и определить класс износостойкости исследованного образца.

16. Построить графики изменения температуры и коэффициента трения от времени испытаний.

Содержание отчета

1. Схемы испытаний
2. Эскиз образца.
3. Таблицы результатов испытаний.
4. Тарировочный график $M_{тр} = M(n')$
5. Расчет интенсивности изнашивания
6. Графики изменения температуры и коэффициента трения от времени испытаний.
7. Выводы

Контрольные вопросы

1. Назовите схемы контактирования элементов пары трения и реальные узлы машин, в которых они могут быть реализованы
2. Какие методы измерения коэффициента трения и износа наиболее часто применяются в триботехнике.
3. Какие машины трения Вы знаете?
4. Чем отличаются лабораторные испытания от стендовых и эксплуатационных?

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Куксенова Л.И. Методы испытаний на трение и износ. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 152 с.
3. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: учебник для технических вузов. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.

4. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 525 с.

5. Справочник по триботехнике. В 3-х т. / под ред. М. Хебды, В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990.

6. Гриб В.В., Лазарев Г.Е. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. М.: Наука, 1968. 240 с.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы: Изучить методики определения параметров шероховатости поверхностей; установить характер влияния вида механической обработки поверхности на параметры шероховатости.

Оборудование: Измерительный инструмент для определения длины линий; профилограф «Калибр»; образцы материалов, обработанных различными методами (шлифованием, точением, фрезерованием, полированием)

Студент должен:

знать:

- основные характеристики макро- и микрогеометрии поверхности твердого тела (шероховатость, волнистость и др);
- классификацию шероховатости (технологическая, эксплуатационная и др.) и условия ее формирования;
- параметры шероховатости;
- методику получения профилограмм с помощью профилографа «Калибр»;

уметь:

- подготавливать к работе профилограф «Калибр»;
- снимать профилограммы образцов;
- рассчитывать параметры шероховатости поверхности.

1 Краткие теоретические сведения

Геометрия поверхностей

В процессе изготовления или при эксплуатации деталей машин на их поверхности формируются неровности, которые определяют топографию поверхности. Принято различать четыре вида отклонений от правильной геометрической формы поверхности: макроотклонения, волнистость, шероховатость и субмикрощероховатость. К макроотклонениям относятся единичные, неповторяющиеся отклонения формы от номинальной идеализированно правильной) геометрии (выпуклость, вогнутость, конусность) в соответствии с ГОСТ 2789-73:

1. Волнистость 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) находится в пределах 0,8...10 мм, а высота, как правило, - в пределах 0,03...500 мкм. Форма волн близка к синусоидальной.

2. Под шероховатостью поверхности понимают совокупность микронеровностей с относительно малым шагом, образующих рельеф поверхности. Шаг микронеровностей меняется в пределах 2...800 мкм, а их высота - от 0,01 до 400 мкм. На выступах, образующих ше-

роховатость, имеются еще более мелкие неровности - субмикрошероховатости. Субмикрошероховатость пока не нормируется. В настоящее время разработаны достаточно надежные средства ее оценки, однако не созданы приборы, пригодные для инженерной практики. Субмикрошероховатость играет существенную роль в протекании контактных процессов. С помощью электронно-микроскопических исследований установлено, что субмикро-шероховатость образуется неровностями, имеющими высоту 2...20 нм.

Пример профилограммы участка поверхности, по которой определяют параметры микрошероховатости деталей машин, представлена на рисунке 1.

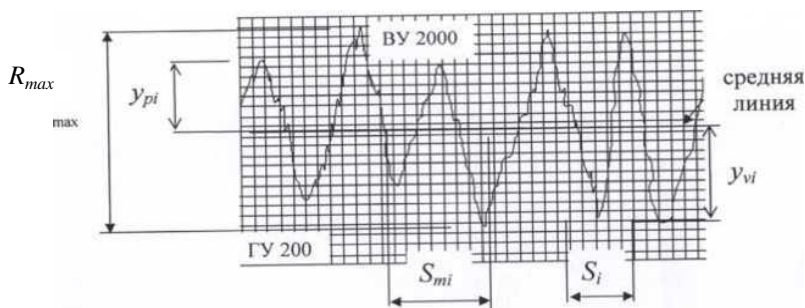


Рисунок 1 - Профилограмма

2 Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкцию и методику получения профилограмм с помощью профилографа «Калибр».
2. Получить профилограммы образцов (по указанию преподавателя).
3. Рассчитать геометрические параметры поверхности. При этом руководствоваться следующей методикой:
 - выбрать характерный участок профилограммы, содержащий не менее пяти микровыступов и пяти микровпадин;

- провести среднюю линию профиля;
- на средней линии нанести отрезки (не менее 20) и определить для них отклонения от профиля
- рассчитать среднее арифметическое отклонение профиля R_a по формуле:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где n - число разбиений базовой линии на отрезки достаточно малой длины;

y_i - отклонение профиля от средней линии на i -м отрезке;

- определить значения высот пяти наибольших выступов и глубин пяти наибольших впадин;
- вычислить высоту неровностей профиля R_z по десяти точкам, как 1/5 суммы средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов и глубин пяти наибольших впадин, измеренных по отношению к средней линии профиля на базовой длине, т. е.:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{p,i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v,i}| \right),$$

где $y_{p,i}$ - высота наибольших пяти выступов;

$y_{v,i}$ - глубины наибольших пяти впадин

- определить максимальную высоту микронеровностей R_{max} - расстояние между линией впадин и линией выступов, которые проводятся параллельно средней линии профиля соответственно через са-

мую глубокую впадину и вершину самого высокого выступа
 $R_{max} = y_{pmax} + y_{vmax}$;

- определить шаг микронеровностей S_m - среднее расстояние между двумя соседними точками пересечения со средней линией профиля участков, имеющих с ней одинаковый по знаку наклон (расчет проводить для $n = 5$):

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m,i},$$

где n - число пересечений;

$S_{m,i}$ - шаг профиля на i -м участке;

- вычислить среднее расстояние между выступами:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где S_i - расстояние между соседними выступами на базовой длине профилограммы l ;

- с учетом различия в увеличении прибора по горизонтали и вертикали рассчитать средний угол профиля поверхности:

$$tga_H = 4R_a / s_m$$

4. Для выбранной профилограммы построить опорную кривую профиля поверхности $t_p(\epsilon)$, т. е. зависимость опорной длины профиля от уровня сечения профиля. Для этого следует:

- параллельно средней линии профиля провести не менее 10 сечений;
- для каждого сечения определить e как отношение расстояния этого сечения от линии начала отсчета к R_{max} и t_p как относительную сумму длин сечений микронеровностей по формуле:

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n l_i,$$

где l – длина сечения i -го выступа.

Определить значения параметров b и v начального участка функции $t_p = b\varepsilon^v$. Для этого на кривой выбрать две характерные точки в интервале $0 \dots \varepsilon_n$, где ε_n - значение ε сечения, проходящего через вершину самого низкого выступа, и определить пары значений $t_{p,1}$, ε_1 ; $t_{p,2}$, ε_2 . Тогда b и v могут быть получены в результате решения системы уравнений:

$$\begin{cases} t_{p,1} = b\varepsilon_1^v \\ t_{p,2} = b\varepsilon_2^v \end{cases}$$

Используя соотношение $R_B = s_m^2 / (bR_p)$, определить средний радиус кривизны выступов R_B , где R_B - наибольшая высота выступа.

Полученные результаты представить в виде таблицы 1

Таблица 1

| Материал образца | Вид обработки | R_a | R_z | R_{max} | S_m | s | R_B | a_n | b | v |
|------------------|---------------|-------|-------|-----------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|
| | | | | | | | | | | |

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Схема испытаний.
3. Профилограмма поверхности образцов.
4. Расчет геометрических параметров поверхности.
5. Таблица полученных результатов.
6. Опорная кривая профиля поверхности.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуется шероховатость поверхности по ГОСТ 2789-73?
2. Как проводят среднюю линию профиля?
3. Как строится опорная кривая профиля поверхности?
4. Какой должна быть опорная кривая профиля поверхности, обеспечивающая наименьшие контактные напряжения при соприкосновении с гладкой плоскостью

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: учебник для технических вузов. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 525 с.
4. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. 244 с.

5. Мышкин Н.К., Петроковец М.Н. Трибология. Принципы и приложения. Гомель: ИММС НАНБ, 2002. 310 с.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОГЕОМЕТРИИ В ПРОЦЕССЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ТРЕНИЯ

Цель работы: определить характер влияния параметров шероховатости на коэффициент трения и скорости изнашивания, установить закономерности изменения топографии поверхности в процессе динамического контакта.

Оборудование: Машина трения СМТ-1; профилограф типа «Калибр»; набор образцов; весы аналитические лабораторные ВЛА-1000; часы.

Студент должен:

знать:

- характеристики дискретного контакта твердых тел (номинальная, контурная, фактическая площадь контакта);
- механизм взаимодействия контактирующих тел в зависимости от механических свойств и величины внешнего давления;
- условие возникновения пластического ненасыщенного контакта;
- двойственную природу сил трения;

уметь:

- работать с машиной для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1.

- работать с профилографом «Калибр».

- подбирать вид и режимы механической обработки рабочей поверхности детали, обеспечивающие наименьшие затраты на механическую обработку, наименьшее время приработки и износ рабочей поверхности детали в результате приработки.

1 Краткие теоретические сведения

Контактное взаимодействие твердых тел

Вследствие деформируемости реальных тел их контакт осуществляется не в точке, а внутри некоторой области контакта, которая при наличии микрорельефа поверхности (волнистости, шероховатости) состоит из совокупности дискретных пятен контакта. В области взаимодействия поверхностей и в ее окрестности возникает напряженное состояние, которое оказывает существенное влияние на процессы трения и изнашивания. От контактных напряжений зависит состояние поверхности и поверхностных пленок на ней, возникновение адгезионных связей в области взаимодействия, накопление поврежденности поверхностных слоев и их разрушение.

Наибольшая концентрация напряжений достигается вблизи отдельных пятен контакта на расстояниях, соизмеримых с масштабом отдельной неровности (микроуровень). При удалении от поверхности на расстояние, соизмеримое с размером области контакта (макроуровень), на величину и распределение напряжений в большей степени оказывают влияние макроформа и объемные свойства взаимодействующих тел.

В триботехнике рассматриваются некоторые модельные задачи о контактном взаимодействии двух тел (контактные задачи), решения которых могут быть применены для анализа напряженного состояния

тел как на микроуровне (контакт неровностей), так и на макроуровне (взаимодействие зубьев шестерен, деталей шариковых и роликовых подшипников и т. д.) Задачи о контакте двух сфер и двух цилиндров, относятся к контактными задачам для тел несогласованной формы. Характерной особенностью контакта тел несогласованной формы является то обстоятельство, что их первоначальный контакт (при нулевой нагрузке) осуществляется в точке (точечный контакт) или по линии (линейный контакт). Так, в шарикоподшипнике контакт между шариком и обоймой - точечный, а в роликовом подшипнике имеет место линейный контакт между цилиндрическим роликом и кольцом. В отличие от контакта тел согласованной формы, имеющих очень близкие очертания и соизмеримую с размерами тел область взаимодействия (примером могут служить плоские скользящие опоры, подшипники скольжения и т.д.), область контакта между телами несогласованной формы, как правило, мала, по сравнению с размерами самих тел. Вблизи этой области (при контактном взаимодействии) возникает высокая концентрация напряжений, которая определяется главным образом геометрическими и механическими характеристиками тел в окрестности области контакта. Конфигурация тел вдали от области контакта практически не влияет на характер распределения контактных напряжений.

На микроуровне модельные задачи о взаимодействии двух тел цилиндрической или сферической формы могут быть использованы для анализа напряжений в области контакта (двух неровностей) на поверхностях взаимодействующих тел, которые часто моделируются с выступами сферической формы, или двух волн (контакт двух цилиндров).

Решения контактных задач позволяют изучить зависимость контактных характеристик (контактные давления, форму и размер области

контакта, сближение тел) и напряженного состояния вблизи области взаимодействия от нагрузки, приложенной к контактирующим телам, формы поверхностей, механических свойств взаимодействующих тел и условий контакта (наличия трения, сцепления и т. д.).

2 Порядок выполнения работы

Изучение влияния параметров шероховатости на коэффициент трения и скорость износа

1. Установить образец с известной микрогеометрией поверхности (использовать образцы, изучение которых проводилось при выполнении работы № 2) в машину трения СМТ-1.

2. Включить машину (Приложение 1) при заданных режимах (давлении, скорости скольжения) и определить значение коэффициента трения.

3. Выполнить пп. 1 и 2 для других образцов с известной микрогеометрией поверхности (по указанию преподавателя).

4. Результаты испытаний представить в виде таблицы 1.

5. По данным, внесенным в таблицу 1, построить графики зависимости $f(P_z)$ при различных V_c и P_c . Сделать вывод о характере зависимостей.

Таблица 1

| Вид обработки поверхности | P_z | b | v | V_c | P_c | f | L |
|---------------------------|-------|-----|-----|-------|-------|-----|-----|
| | | | | | | | |

Изучение изменений микрогеометрии поверхности в процессе трения

1. Получить профилограмму для данного образца. Определить основные параметры шероховатости поверхности (R_a, R_z, s_m).

2. Установить образец в машину трения СМТ-1 и провести испытание при заданных режимах.

3. Периодически через равные промежутки времени снимать профилограмму поверхности. Профиль желательно определять для одного и того же участка. Рассчитать параметры шероховатости согласно п.1.

4. Методом взвешивания определить износ тела за время трения.

5. Результаты испытаний представить в таблице 3.

Таблица 2

| Время трения | R_a | R_z | S_m | V_c | P_c | f | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| | | | | | | | |

6. По формуле $P_{ск} = 0,065HB$ для данного материала определить критическое значение давления $P_{ск}$, при превышении которого наблюдается пластический ненасыщенный контакт.

7. По полученным данным построить графики зависимостей, сделать вывод о характере изменений этих величин в процессе трения при $P_c > P_{ск}$ и $P_c < P_{ск}$.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Таблица результатов испытаний.
3. Графики зависимости $f(P_z)$ при различных V_c и P_c .
4. Профилограмма образца до испытаний.
5. Расчет основных параметров шероховатости поверхности.

6. Профилограммы через равные промежутки времени испытаний на машине трения СМТ-1.
7. Расчет основных параметров шероховатости поверхности.
8. Таблица результатов испытаний.
9. Расчет критического значения давления для данного материала.
10. Расчет критического значения давления для данного материала.
11. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение нормальной, контурной и фактической площадей контакта. Какие существуют экспериментальные методы их определения?
2. Как влияют параметры шероховатости на коэффициент трения?
3. Предложите и обоснуйте способ расчета величины износа по изменению шероховатости контактирующих поверхностей.

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: учебник для технических вузов. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 525 с.
4. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. 244 с.
5. Мышкин Н.К., Петроковец М.Н. Трибология. Принципы и приложения. Гомель: ИММС НАНБ, 2002. 310 с.

6. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А. Белый и др. Мн.: Наука и техника, 1976. 167 с.

Лабораторная работа № 4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы: Экспериментально изучить влияние режимов нагружения на коэффициент трения качения.

Оборудование: Машина трения СМТ-1; тела качения из стали (2 шт.), алюминия или бронзы (1 шт.); индикатор часового типа.

Студент должен:

знать:

- значение термина «качение». Виды качения;
- определение коэффициента трения качения;
- механизм трения качения (упругих и твердых тел);
- особенность поведения коэффициента трения качения при увеличении диаметра твердого тела;
- влияние смазки при чистом качении;

уметь:

- работать с машиной для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;
- обосновывать применение материалов и смазки в узлах трения качения.

1 Краткие теоретические сведения

Трение качения

Сила трения качения, по крайней мере, в 10 раз меньше силы трения скольжения. Сопротивление качению объясняется деформационными потерями в нижележащем твердом теле.

При отсутствии пластической деформации трение обусловлено гистерезисными потерями в твердом теле. При трении качения происходит взаимное проскальзывание поверхностей. Гистерезисные потери при трении качения поясняются с помощью рисунка 1.

Еще О. Рейнольдс (1876 г.) заметил, что когда цилиндр из твердого материала катится по плоской поверхности резины, то при каждом обороте он проходит путь меньший, чем длина окружности цилиндра. Он предположил, что резина растягивается в точке *C* не так, как в точках *B* и *D*, и в результате имеет место, как уже упоминалось, проскальзывание с соответствующим рассеиванием энергии. Из рисунка 1 видно, что впереди перед шариком в точке *D* образуется ступенька, а позади шарика в точке *A* деформируемый материал частично восстанавливается под действием сил упругости либо упругого гистерезиса.

Кроме того, вследствие необратимой пластической деформации силы реакции позади шарика меньше, чем силы давления впереди него. В результате шарик совершает работу деформации.

При трении качения металлического шарика по основанию из металла деформации поверхностей невелики, и оксидные пленки, имеющиеся на поверхностях трения, не подвергаются значительным разрушениям.

Для приработанного состояния поверхностей по экспериментальным данным сила трения качения

$$F = \kappa N^n / D^m,$$

где κ - константа, зависящая от материала;

N - нагрузка на шарик;

D - диаметр шарика;

$n = 1,7..1,85$;

$m = 1,5...1,6$.

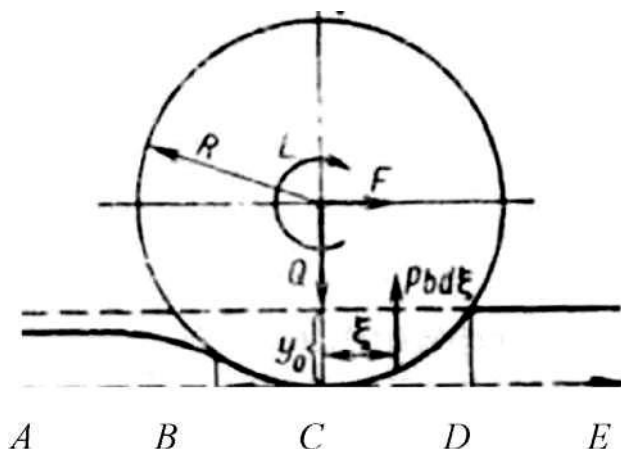


Рисунок 1- Схема деформации основания при качении шарика по плоскому упругому основанию

Сила трения в подшипниках качения при высоких скоростях зависит от вязкости смазочного материала и может достигать больших величин. На силу трения в подшипниках качения влияют вязкость смазочного материала, трение в сепараторе подшипника, размер шариков, шероховатость поверхности и др.

Момент трения в подшипниках качения:

$$M = 0,5 f_Q Q d \text{ или } M = 0,5 f_T T d,$$

где f_Q и f_T - коэффициенты трения при радиальной и осевой нагрузках, отнесенные к диаметру вала d ;

Q и T - радиальная и осевая нагрузки.

Сила трения в подшипниках качения увеличивается в случае технологических и монтажных погрешностей, повышенных скоростей и при трении в уплотнениях. Значения коэффициентов трения в различных видах подшипников качения находятся в диапазоне 0,002-0,008.

2 Порядок выполнения работы

1. Установить стальной ролик (контртело) на валу машины трения (Приложение 1), установить второй ролик диаметром 40 мм и высотой 12 мм из стали на валу каретки. Протереть поверхности трения образцов тампоном, смоченным в растворителе.

2. Проверить биение образцов индикатором, наименьшее биение достигается проворачиванием образцов относительно вала. Операцию по установке коэффициента проскальзывания κ_n не выполнять - на всех машинах трения $\kappa_n = 0$.

3. Сдвинуть каретку в левое положение и надеть петлю троса уравнивания на винт каретки, плавно опустить каретку до соприкосновения образцов и зафиксировать ее от осевого перемещения.

4. Включить машину трения (порядок операций включения изложен в Приложении 1), исключая операции по тарировке системы измерения момента трения.

5. Резисторами установить частоту вращения вала $n = 240 \text{ мин}^{-1}$ (мгновенная скорость в точке контакта $V = 0,5 \text{ м/с}$), пружиной или навесными грузами задать нагрузку $N = 100 \text{ Н}$.

6. Скорректировать частоту вращения вала и осуществить приработку поверхностей трения в течение 15 мин.

7. Устанавливая значения N и V согласно таблице, записать момент трения, соответствующий каждому из заданных значений N и V .

Продолжительность испытаний и записи момента трения для каждого из значений N и V должна быть не менее 5 мин.

8. Используя полученные при выполнении лабораторной работы № 1 тарировочные графики, определить значения момента трения M для различных режимов нагружения. При обработке кривой записи момента трения выбрать семь значений момента трения и рассчитать коэффициент трения качения по формуле $f_k = M/N$.

9. Выполнить статистическую обработку полученных результатов. Полученные результаты занести в таблицу .1.

10. Построить графики зависимостей $f_k = f(N)$ и $f_k = f(V)$. На графиках указать доверительные интервалы.

11. По изложенной выше методике провести измерения коэффициента трения качения в присутствии смазки. Для этого: остановить машину, протереть тампоном поверхности стальных роликов и повторить испытания по п.п. 4-8 настоящей методики. Смазку вводить капельным способом в зону трения - одна капля смазки на одно испытание.

12. Выполнить статистическую обработку полученных данных (п. 9), занести их в таблицу и построить графики (п. 10).

Таблица 1 - Влияние режимов нагружения на коэффициент трения качения

| | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $N, Н$ | 50 | 100 | 150 | 200 | 100 | | | |
| $V, м/с$ | 0,5 | | | | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,0 |
| $M, Н м$ | | | | | | | | |
| $f, м$ | | | | | | | | |
| Δ | | | | | | | | |

13. Изучить сопротивление качению тел, выполненных из разноименных металлов. Для этого: заменить стальной ролик на валу каретки на бронзовой или алюминиевый (ролик на валу машины не меняется), протереть тампоном поверхности трения обоих тел качения, плавно привести тела качения в контакт и провести испытания по п.п. 4-8 настоящей методики.

14. Выполнить статистическую обработку полученных данных (п. 9), занести их в таблицу и построить графики (п. 10).

15. Сделать вывод о влиянии режимов нагружения и механических свойств материалов сопрягаемых тел на сопротивление качению.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема испытаний.
3. Таблица «Влияние режимов нагружения на коэффициент трения качения» для сухого трения, со смазкой, разноименных материалов.
4. Графики зависимостей $f_k = f(N)$ и $f_k = f(V)$. с указанием доверительных интервалов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Почему цилиндр катится по плоскости, а не скользит?
2. Как влияет изменение модуля упругости сопрягаемых тел на сопротивление качению? Какими причинами обусловлено это влияние?
3. В каких случаях введение смазки в зону трения снижает коэффициент трения качения? Почему?
4. После многократного качения шара по одной и той же дорожке трения коэффициент сопротивления качению уменьшается. Почему?

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 525 с.
3. Богданович П.Н., Ивашко В.С., Прушак П.Н. Триботехника / М.: БГАТУ, 2001. 159 с.
4. Гаркунов, Д.Н. Триботехника: учебник для студентов вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.

Лабораторная работа № 5

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы: изучить влияние режимов нагружения на процесс фрикционного взаимодействия твердых тел (металлов и пластмасс).

Оборудование: Машина трения СМТ-1; штангенциркуль; контротело; образцы.

Студент должен:

знать.

- условие возникновения трения скольжения;
- объяснение молекулярно-механической теории трения скольжения твердых тел;
- факторы, влияющие на коэффициент трения;
- особенности трения пористых материалов;
- преимущества и недостатки полимерных материалов;

уметь:

- работать с машиной для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;

- подбирать материал для узла трения с известными условиями работы.

1 Краткие теоретические сведения

Трение твердых тел

Первые результаты исследования трения твердых тел были обнаружены в трудах Леонардо да Винчи. Была выявлена пропорциональность сопротивления трения нагрузке, действующей на трущиеся поверхности. Кроме того, было отмечено, что тела с шероховатой поверхностью имеют большее сопротивление трения. Г. Амонтон в 1699 г. предложил записывать формулу для определения коэффициента трения в виде:

$$h = F_T/P,$$

где F_T - сила трения;

P - приложенная по нормали к поверхности трения нагрузка, сжимающая взаимодействующие при трении твердые тела.

Это выражение получило название *закона Амонтона*.

Важнейший вклад в развитие науки о трении твердых тел внесли работы известного французского ученого Ш. Кулона. Он установил не менее знаменитый закон для внешней силы трения, носящий его имя, в виде

$$F_T = A + f_T'P,$$

где A - характеристика сцепляемости между взаимодействующими твердыми телами при трении, не зависящая от нагрузки;

f_T' - одна из составляющих коэффициента трения;

P - нагрузка.

Наиболее полно и завершено молекулярная теория трения получила развитие в трудах Б.В. Дерягина. Он дал новое обоснование, построенное на учете молекулярной шероховатости поверхностей взаимодействующих твердых тел, являющейся следствием дискретной структуры вещества. При расчете сил трения предполагается, что расположение и размеры атомов и молекул контактирующих тел не меняются, а целостность каждого тела обеспечивается силами межатомного и межмолекулярного взаимодействия, т. е. силами притяжения и отталкивания.

Предложенная И.В. Крагельским теория внешнего трения объясняла силу трения также двумя причинами:

1) силой сопротивления движению одного из взаимодействующих тел относительно другого, обусловленную межатомными и межмолекулярными взаимодействиями в зонах фактического касания твердых тел (молекулярная составляющая силы трения);

2) внедрением при контактировании отдельных микронеровностей более жестких тел в поверхность менее жестких тел. При относительном перемещении внедрившиеся микронеровности деформируют (передеформируют) поверхностные слои менее жесткого тела. Сила сопротивления, возникающая при этом, называется деформационной составляющей силы трения.

Следует отметить, что при трении кроме механических имеют место тепловые, электрические, магнитные и другие явления.

Взаимодействие контактирующих тел при скольжении друг относительно друга называется трением скольжения. Наряду с этим различают трение покоя, когда относительная скорость контактирующих тел равна нулю.

По кинематическому признаку внешнее трение подразделяют на трение: скольжения, качения и верчения.

При внешнем трении скольжения в случае поступательного движения тела относительная скорость $V_{СК}$ всех точек одного из взаимодействующих тел практически одинаковая по значению и направлению.

При трении качения можно, по крайней мере, указать одну точку в зоне контакта, в которой относительная скорость скольжения взаимодействующих тел будет равна нулю.

Трение верчения по существу является частным случаем трения скольжения, которое имеет место при вращательном движении одного из контактирующих тел. В этом случае скорости относительного скольжения изменяются, подчиняясь определенной закономерности во всех точках контакта, за исключением точки пересечения площадки контакта с осью вращения; если взаимодействующие твердые тела совершают сложное движение, то преобладающим будет трение скольжения, т. е. во всех точках контакта относительная скорость скольжения будет отлична от нуля, хотя и неодинакова по значению.

Под внешним трением будем понимать комплекс явлений в зонах контактов микронеровностей двух скользящих друг относительно друга твердых тел, связанных с возникновением силы трения.

Кроме деления трения на внешнее и внутреннее важным является деление внешнего трения на сухое и граничное. Как показывает практика, сила взаимодействия при сухом трении обычно выше, чем при граничном.

Сила трения вызывает не только диссипацию энергии (фрикционные потери), но и существенно влияет на изнашивание взаимодействующих твердых тел. Поэтому в инженерной практике обычно используют комплекс мероприятий, приводящих к уменьшению силовых взаимодействий при трении.

Под силой трения при скольжении твердых тел друг относительно друга (сила внешнего трения) F_T понимают силу сопротивления относительно скольжению контактирующих твердых тел, лежащую в плоскости их касания. Сила внешнего трения:

$$F_T = F_{T_{\text{мол}}} + F_{T_{\text{мех}}},$$

где $F_{T_{\text{мол}}}$ - составляющая силы трения, обусловленная межмолекулярным и межмолекулярным взаимодействием;

$F_{T_{\text{мех}}}$ - механическая составляющая силы трения, обусловленная деформированием (передеформированием) поверхностных слоев менее жесткого твердого тела внедрившимися микронеровностями более жесткого тела.

2 Порядок выполнения работы

1. Выбрать образец и схему испытаний ранее использованные в лабораторной работе № 1, установить контртело (ролик диаметром $D = 40$ мм и высотой $h = 12$ мм) на валу машины трения (Приложение). Протереть тампоном, смоченным в растворителе, поверхности трения образца и контртела. Установить образец в держателе машины.

2. Включить машину трения (Приложение).

3. Резисторами установить частоту вращения вала $n = 240 \text{ мин}^{-1}$ (скорость скольжения $V = 0,5 \text{ м/с}$).

4. Установить держатель с образцом на вал каретки и задать нагрузку $N = 100\text{Н}$.

5. Скорректировать частоту вращения вала и осуществить проработку поверхностей трения в течение 15 мин.

6. Установить значения N и V (см. таблицу 5.1) и записать момент трения, соответствующий каждому значению N и V . Продолжительность изнашивания и регистрации момента трения для каждого из заданных значений N и V должна быть не менее 5 мин.

7. Используя полученные при выполнении лабораторной работы № 1 тарировочные графики, определить значения момента трения и коэффициента трения для различных значений N и V . При обработке кривой записи момента трения выбрать для каждого фиксированного значения N и V семь значений момента трения и рассчитать.

8. Определить среднее значение f по формуле:

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i,$$

где $n = l$ - число параллельных измерений.

9. Рассчитать несмещенную выборочную дисперсию:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f - f_i)^2,$$

10. Определить доверительный интервал $\Delta = ts / \sqrt{n-1}$, используя критерий Стьюдента t . Для 95%-ного доверительного интервала и $n = 7$ величина $t = 2,45$. Тогда с вероятностью $P = 0,95$ доверительный интервал:

$$\Delta = f - 2,45s / \sqrt{n-1}; \quad \Delta = f + 2,45s / \sqrt{n-1}.$$

11. Рассчитать значения f и Δ для различных режимов нагружения. Полученные данные представить в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Влияние режимов нагружения на коэффициент трения

| | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N, H | 50 | 100 | 150 | 200 | 100 | | | |
| $V, м/с$ | 0,5 | | | | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,0 |
| $M, Н'м$ | | | | | | | | |
| f | | | | | | | | |
| Δ | | | | | | | | |

В зависимости от материала образца режимы нагружения могут быть изменены.

12. Построить графики зависимостей $f=f(N)$ и $f=f(V)$. На графиках указать доверительные интервалы.

13. Построить линии равных коэффициентов трения для различных значений N и V . Для этого:

- параллельно оси скоростей на графиках $f = f(V)$ построенных для различных значений N , провести сечение, соответствующее $f = 0,2$;

- выбрать значения N и V , соответствующие точкам пересечения секущей линии с кривыми $f = f(V)$, построить соответствующие им точки в системе $N-V$;

- построить линию равных значений коэффициентов трения по точкам в системе $N -V$;

- по описанной методике построить линии равных значений для других двух величин коэффициента трения.

14. Уменьшить площадь поверхности трения образца до $A_a = 1,5 \text{ см}^2$ и определить коэффициент трения при $N = 100 \text{ Н}$ и $V = 0,5 \text{ м/с}$.

15. Определить f при $N = 100$ Н и $V=0,5$ м/с для площади A_a образца, равной 1 см^2 .

16. Рассчитать коэффициенты взаимного перекрытия для $A_a = 2; 1,5; 1 \text{ см}^2$ по формуле $k_{вз} \cdot A_a / (\pi Dh)$.

Данные по $k_{вз}$ и f представить в виде таблицы 5.2.

Таблица 5.2 - Зависимость коэффициента трения от коэффициента взаимного перекрытия

| $A_a, \text{ см}^2$ | 2 | 1,5 | 1,0 |
|---------------------|---|-----|-----|
| $k_{вз}$ | | | |
| f | | | |

Сделать вывод о влиянии конструктивных параметров узла трения на его фрикционные характеристики

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Схема испытаний.
3. Таблица результатов «Влияние режимов нагружения на коэффициент трения» для металлов и пластмасс.
4. Графики для $f = f(N)$ и $f = f(V)$ металлов и пластмасс.
5. Линии равных коэффициентов трения в координатах $N-V$ для металлов и пластмасс.
6. Таблица «Зависимость коэффициента трения от коэффициента взаимного перекрытия» для металлов и пластмасс.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какая из пар трения (металл–металл, металл–полимер, полимер–полимер) по фрикционным характеристикам более чувствительна к изменению $k_{вз}$?
2. В каком случае возможен подъем? После достижения минимума?
3. Посредством, каких факторов оказывает влияние температура в зоне контакта на коэффициент трения?
4. Стальной ползун движется возвратно-поступательно с низкой скоростью по поверхности полимерной направляющей. Контакт вязкоупругий. Какие участки дорожки трения направляющей будут изнашиваться интенсивнее? Почему?

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 525 с.
3. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
4. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. Москва.: Наука, 1977. 230 с.

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВОМ

Цель работы: Экспериментально изучить влияние режимов нагружения и твердости материалов на интенсивность их изнашивания закрепленным абразивом.

Оборудование: Машина трения СМТ-1; шлифовальная шкурка М 64С 16-П С А (с размером абразивных зерен основной фракции шлифматериала 160 мкм) и У2Г 63С М63 СФЖ А (с размером абразивных зерен основной фракции шлифматериала не более 63 мкм) (ГОСТ 13344–79); два образца цилиндрической формы из стали 45 ГОСТ 1050–94. Смазочный материал индустриальное масло И-Г-А-32 ГОСТ 17479.4–87.

Студент должен:

знать:

- значение термина «абразивное изнашивание»;
- виды абразивных частиц;
- факторы, влияющие на процесс абразивного изнашивания;
- механизмы разрушения поверхности трения деталей твердыми абразивными частицами;
- механизм абразивного изнашивания полимерных материалов;

уметь:

- работать с машиной для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1.

1 Краткие теоретические сведения

Изнашивание твердых тел

Под *изнашиванием* понимают процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела или накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы тела.

Износ есть результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы. Износ деталей и узлов трения приводит к ухудшению функциональных показателей машины и, как правило, регламентирует ее ресурс. В результате износа нарушается кинематическая точность механизмов, снижается производительность, уменьшается прочность деталей, увеличиваются расходы на ремонт машины, затраты энергии на производство конечной продукции, появляются не предусмотренные расчетом дополнительные нагрузки, вибрация, шум.

Термины и определения в области изнашивания регламентированы ГОСТ 27674 «Трение, изнашивание и смазка». Количественное изнашивание характеризуется скоростью изнашивания y – отношением значения износа Δh к интервалу времени t , в течение которого он возник, или интенсивностью изнашивания I – отношением износа Δh к обусловленному пути L , на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы. Различают мгновенную (в определенный момент времени) и среднюю скорость изнашивания (за определенный интервал времени).

Под *износостойкостью* понимают свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания.

Значения износостойкости на практике колеблются в широких

пределах $10^3 \dots 10^{13}$. Установлены десять классов износостойкости изделий от 3 до 12 в соответствии с показателем степени (Приложение 1).

Ввиду сложности процессов, протекающих в поверхностных слоях твердых тел при изнашивании, различия условий и режимов работы узлов трения и причин изнашивания невозможно предложить строгие единые классификационные признаки всего многообразия процессов изнашивания.

Наибольшее распространение получила следующая классификация видов изнашивания по характеру воздействия на поверхность трения и протекающих на ней процессов при эксплуатации машин:

- механическое изнашивание – абразивное; гидроабразивное (газоабразивное); гидроэрозионное (газоэрозионное); кавитационное; усталостное; изнашивание при фреттинге; изнашивание при заедании;

- коррозионно-механическое – окислительное; изнашивание при фреттинг-коррозии; водородное, в агрессивных средах;

- молекулярно-механическое – при схватывании, адгезионное, тепловое, электроэрозионное.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить образец для испытаний согласно размерам, представленным в лабораторной работе № 1, установить образец на валу машины трения. Протереть последовательно бензином и ацетоном поверхности трения образца. Установить в держателе машины колодку с одной из шлифовальных шкур.

2. Включить машину трения (порядок операций включения изложен в Приложении 1, исключая операции по тарировке системы измерения момента трения).

3. Резисторами установить скорость вращения вала $n = 240$

об/мин. (скорость скольжения $V = 0,5$ м/с). Включить подачу смазочного материала.

4. Установить держатель с колодкой на вал каретки и задать нагрузку $N = 10$ Н.

5. Регистрировать по потенциометру, используя полученные при выполнении лабораторной работы № 1 тарировочные графики, момент трения.

Последовательно повторить п. 5 для нагрузок 20, 30, 40, 50 Н.

Рассчитанные значения коэффициента трения занести в таблицу 5.1.

6. Повторить п.п. 5 и 6 с новым образцом и другой шлифовальной шкуркой.

7. После окончания испытаний выключить машину.

8. Построить графики изменения коэффициента трения от нагрузки на истираемые абразивом образцы.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Схема испытаний.
3. Таблица результатов испытаний.
4. Графики зависимости коэффициента трения от нагрузки на истираемые свободным абразивом образцы.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие механизмы абразивного изнашивания вам известны?
2. Назовите основные виды абразивного изнашивания.
3. Изобразите графически зависимость интенсивности абразивного изнашивания металлов и полимеров от их твердости.

4. Изобразите графически зависимость интенсивности абразивного изнашивания от режимов фрикционного нагружения.

Литература

1. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.

2. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: учебник для технических вузов. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.

3. Гаркунов Д.Н. Триботехника: учебник для студентов вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.

4. Полимеры в узлах трения машин и приборов: справочник / под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1980. 326 с.

8. Ивашко В.С., Кураш В.В., Кудина А.В. Надежность технических систем: учеб.-метод. комплекс. Мн.: БГАТУ, 2008. 148 с.

9. Трение, изнашивание и смазка: справочник. Т. 1 / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. М.: Машиностроение, 1976. 276 с.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Цель работы: экспериментально изучить влияние режимов нагружения и твердости материалов на интенсивность их изнашивания свободным абразивом.

Оборудование: Машина трения СМТ-1; кварцевый песок ГОСТ 2138–56 двух фракций: до 5 мкм и более 5 до 35 мкм; два образца цилиндрической формы из стали 45; два контрообразца - колодки из стали

45 ГОСТ 1050–94. Смазочный материал индустриальное масло И-Г-А-32 ГОСТ 17479.4–87.

Студент должен:

знать:

– механизм изнашивания от абразивных частиц в зазоре пары трения;

– критерий перехода от микрорезания к многоцикловому механизму разрушения;

– способы повышения сопротивления материала абразивному изнашиванию;

– особенности абразивного изнашивания пластических масс;

уметь:

– работать с машиной для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1.

1 Краткие теоретические сведения

Абразивное изнашивание

Абразивному изнашиванию подвержены детали и узлы трения большинства машин и оборудования, применяемых в горнорудной промышленности, сельском хозяйстве, буровое оборудование и инструмент, рабочие органы и ходовая часть строительно-дорожной и транспортной техники, дробильно-размольные, смесительные машины и оборудование перерабатывающих производств и т. д.

Отличительным признаком абразивного изнашивания является участие в процессе твердых частиц, обладающих различной структурой, формой, размерами, твердостью, прочностью, незначительной

адгезией к трущимся поверхностям. Трение в присутствии абразивных частиц характеризуется не стационарностью контактов 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. Учитывая различия в механизмах разрушения поверхностей, классифицировать материалы по их способности сопротивляться абразивному изнашиванию не представляется возможным.

Исследования изнашивания материалов по корундовому полотну, проведенные М. Хрущовым, показали, что относительная износостойкость чистых металлов в не наклепанном состоянии и сталей в

отожженном состоянии прямо пропорциональна твердости материала:
 $\varepsilon \sim \text{HB}$. Для термообработанных сталей характерна зависимость:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha(\text{HB} - \text{HB}_0),$$

где ε_0 – относительная износостойкость стали в отожженном состоянии;

α – коэффициент пропорциональности;

HB_0 – твердость стали в отожженном состоянии кроме того процессы абразивного изнашивания зависят от формы и размеров абразивных частиц.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить образец для испытаний согласно размерам, представленным в Приложении 1, установить образец на валу машины трения. Протереть последовательно бензином и ацетоном поверхности трения образца. Установить в держателе машины колодку.

2. Подставить под образец емкость с кварцевым песком одной из фракций.

3. Включить машину трения (порядок операций включения изложен в Приложении 1, исключая операции по тарировке системы измерения момента трения).

4. Резисторами установить частоту вращения вала $n = 240 \text{ мин}^{-1}$ (скорость скольжения $V = 0,5 \text{ м/с}$). Включить подачу смазочного материала.

5. Установить держатель с колодкой на вал каретки и задать нагрузку $N = 10 \text{ Н}$.

6. Регистрировать по потенциометру, используя полученные при выполнении лабораторной работы № 1 тарировочные графики, момент трения.

7. Последовательно повторить п. 5 для нагрузок 20, 30, 40, 50 Н. Рассчитанные значения коэффициента трения занести в таблицу.
8. Повторить п.п. 5 и 6 с новым образцом и другой фракцией кварцевого песка.
9. После окончания испытаний выключить машину.
10. Построить графики изменения коэффициента трения от нагрузки на истираемые свободным абразивом образцы.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Схема испытаний.
3. Таблица результатов испытаний.
4. Графики зависимости коэффициента трения от нагрузки на истираемые свободным абразивом образцы.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Для каких трибосопряжений характерно контактноабразивное изнашивание свободными частицами?
2. Опишите механизм абразивного изнашивания твердого материала при тяжелых режимах нагружения.
3. Какова зависимость интенсивности изнашивания тел от размера частиц?
4. Какова особенность абразивного изнашивания эластомеров?

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Трение, изнашивание и смазка: справочник. Т. 1 / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. М.: Машиностроение, 1976. 276 с.
3. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 270 с.
4. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания материалов. М.: Наука, 1970. 286 с.

Лабораторная работа № 8

ОЦЕНКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: определение смазочной способности масел.

Оборудование: Машина трения СМТ-1; два образца из стали 45 ГОСТ1050–94; смазочные материалы: индустриальное масло И-Г-А-32 ГОСТ 17479.4–87 и моторное масло М-8В1 ГОСТ 10541–78; ветошь; бензин (ГОСТ 443–76); ацетон (ГОСТ 2603–79).

Студент должен:

знать:

- основные назначения смазки;
- преимущества и недостатки смазочных масел;
- назначение присадок;
- критерии выбора оптимальной смазки для работы в конкретных условиях;

уметь:

- работать с машиной для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1;
- подбирать наиболее подходящую смазку для данных условий трения.

1 Краткие теоретические сведения

Классификация видов смазки

Одним из наиболее эффективных путей обеспечения надежности и долговечности подвижных сопряжений деталей машин и механизмов и минимизации энергетических потерь при их эксплуатации является использование в качестве компонентов этих сопряжений смазочных материалов.

Смазочными материалами (СМ) называются продукты органического и неорганического происхождения, которые вводят между поверхностями с целью уменьшения потерь на трение в этом сопряжении, износа пар трения и предотвращения заедания. Благодаря тому, что внутреннее трение в смазочных материалах существенно меньше, чем внешнее трение несмазанных деталей, исключение или минимизация непосредственного контакта пар трения приводит к улучшению фрикционно-износных характеристик сопряжения.

Смазочный материал является важнейшим конструкционным элементом узла трения, во многом определяющим его надежность, а также потери энергии при функционировании узла.

В условиях жидкостной или газовой смазки при рабочих режимах полностью исключен непосредственный контакт трущихся тел.

Он возможен только при пусках и остановках. Внешнее трение

твердых тел отсутствует, его заменяет внутреннее трение смазочной среды, составляющей слой, разделяющий эти тела в большинстве узлов трения жидкостная смазка, обеспечивающая полное разделение рабочих поверхностей контактирующих деталей в процессе эксплуатации, осуществляется под действием давления, создаваемого в слое жидкости, ограниченном этими поверхностями, при их относительном перемещении. Скорость течения представляет собой сумму скоростей вязкого течения с линейным профилем скоростей по толщине слоя и скорости течения, вызванной градиентом давления, развиваемого в слое жидкости, с параболическим профилем скоростей течения. Это обеспечивает постоянство расхода жидкости по длине зазора, а развиваемое давление обеспечивает несущую способность смазочному слою.

Если геометрия контакта и условия работы узла трения не обеспечивают реализацию жидкостной смазки, то разделение контактирующих поверхностей и устранение (или локализацию) металлического контакта обеспечивают граничные слои, образующиеся на поверхностях трения в результате взаимодействия активных компонентов смазочного материала с поверхностными слоями трущихся тел.

Такой режим смазки называют граничным.

Смешанная (полужидкостная) смазка – режим смазочного действия, при котором существует частично гидродинамическая или эласто-гидродинамическая, частично граничная смазка.

Смешанная смазка чаще всего возникает в узлах трения, предназначенных для работы в условиях гидродинамической смазки, вследствие нарушений по разным причинам условий ее образования.

Одним из свидетельств существования такого режима является разрыв смазочного слоя на некотором угле поворота вала, возникающий в шатунном подшипнике двигателя внутреннего сгорания.

При измерении толщины смазочного слоя с помощью емкостного датчика в момент контакта шероховатостей поверхности происходит замыкание измерительной цепи. Более детальный анализ зоны контакта показывают периодические контакты – разрывы смазочного слоя, свидетельствующие о режиме существования смешанной смазки.

Однако режим смешанной смазки имеет место в небольшой зоне, в которой расчетная толщина смазочного слоя меньше критической.

Режим смазки, характеризующий в целом эти процессы, можно назвать комбинированной смазкой, при которой существует одновременно гидродинамическая и смешанная смазки, дающие результирующую несущую способность P_{Σ} .

Газовая смазка (ГС) – смазка, при которой разделение поверхностей трения деталей, находящихся в относительном движении, осуществляется газом, в качестве которого применяют в основном воздух, азот, неон и хладон, а также газы с очень низким коэффициентом вязкости (водород). ГС применяется в узлах трения точных приборов, аппаратуре ядерных установок, ультрацентрифугах, газовых турбинах, турбокомпрессорах.

Порядок проведения работы

1. Изготовить образец для испытаний согласно размерам, представленным в лабораторной работе № 1, установить контртело на валу машины трения (Приложение 1). Протереть последовательно бензином и ацетоном поверхности трения образца и контртела. Установить образец в держателе машины.

2. Включить машину трения (порядок операций включения изложен в лабораторной работе № 1, исключая операции по тарировке системы измерения момента трения).

3. Резисторами установить частоту вращения вала $n = 240 \text{ мин}^{-1}$ (скорость скольжения $V = 0,5 \text{ м/с}$).
4. Установить держатель с образцом на вал каретки и задать нагрузку $N = 100 \text{ Н}$.
5. Включить подачу одного из масел.
6. Регистрировать по потенциометру, используя полученные при выполнении лабораторной работы № 1 тарировочные графики, температуру и момент трения через каждые 2 минуты.
7. Повторить п.п. 5 и 6 с новым образцом и другим маслом.
8. После окончания испытаний выключить машину.
9. Рассчитать коэффициент трения.
10. Построить графики изменения температуры и коэффициента трения от времени испытаний для всех смазок.
11. Сделать вывод о наиболее подходящей смазке для данных условий трения.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Схема испытаний.
3. Графики изменения температуры и коэффициента трения от времени испытания для всех указанных смазок.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные функции смазки в узлах трения.
2. Каковы преимущества и недостатки жидких смазок по сравнению с пластичными?
3. Перечислите физико-химические характеристики смазочных материалов.

4. Каково назначение присадок?

5. Каков критерий выбора оптимальной смазки для работы в конкретных условиях?

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.

2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 525 с.

3. Справочник по триботехнике. В 3-х т. / под ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990.

4. Гаркунов Д.Н. Триботехника: учебник для студентов вузов / Д.Н. Гаркунов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.

5. Матвеевский Р.М. Смазочные материалы: справочник. М.: Машиностроение, 1989. 248 с.

6. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов. М.: Химия, 1991. 286 с.

7. Мышкин Н.К., Петроковец М.Н. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2007. 368 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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.

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 задачи перед испытанием необходимо провести подготовку машины.

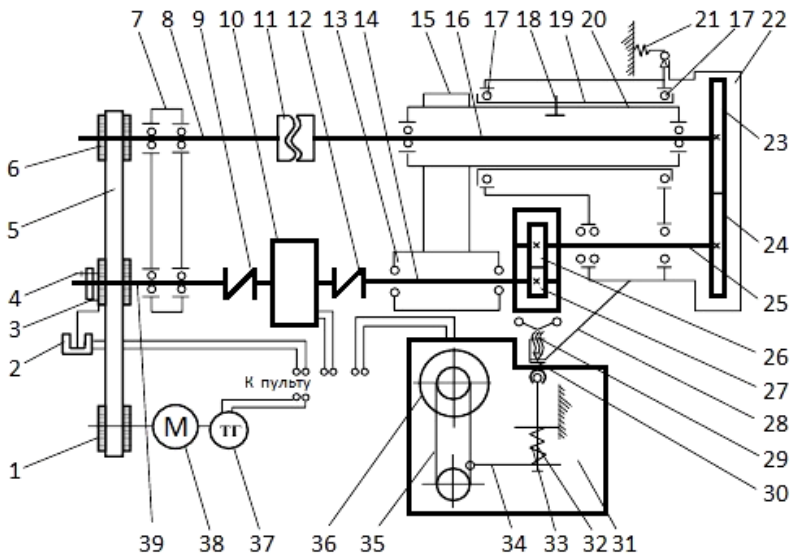
Общими операциями до установки образцов являются:

- установка диапазона частоты 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

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 (рисунок 1).

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.



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 – шпindelь 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

Рисунок 1 - Кинематическая схема машины 2070 СМТ-1

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 закреплен 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. Маслоуказатель 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 величиной 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 измеритель-

ные 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 торсионом датчика, 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.

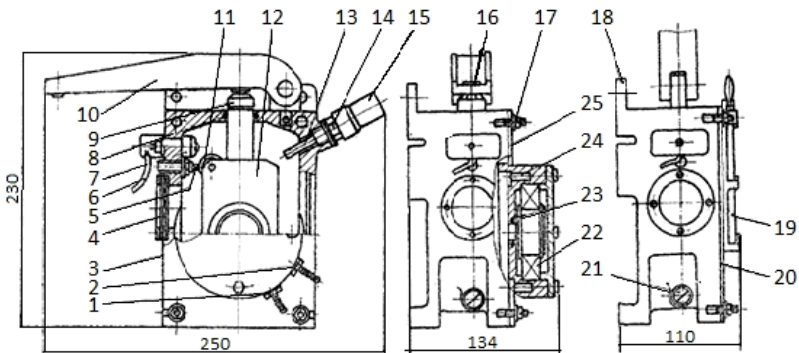
Электрические сигналы с измерительных катушек подаются в электрическую схему сравнения и далее на электронный потенциометр, который показывает и записывает величину измеряемого момента трения и процесса испытания образца.

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 (рисунок 2) 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.



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

Рисунок 2 - Испытательная камера

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. По-

сле 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», расположен-

ный 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 ноль 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 по-

ставленной 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.

Плавное 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, рас-

положенным 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 «x5». 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 «x2».

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, со-

здающий момент 10 Н·м. Установите переключатель диапазонов в положение «х1». При этом стрелка потенциометра должна показать 98–100 делений.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 – Классы износостойкости узлов трения машин, аппаратов, приборов

| Класс износостойкости | Интенсивность Изнашивания (<i>I</i>) | | 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} | | |

ПРИЛОЖЕНИЕ В ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

для самостоятельной работы

1. СОВОКУПНОСТЬ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ПРОДУКТАМ ИЗНАШИВАНИЯ, МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ, АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И Т. П. -

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1) трибометрия | 3) трибодиагностика |
| 2) трибомониторинг | 4) триботехника |

2. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТРИБОЛОГИИ СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ УСЛОВНО ДЕЛЯТ НА БОЛЬШИХ ГРУПП

- | | |
|--------|-----------|
| 1) две | 3) четыре |
| 2) три | 4) пять |

3. КАКИЕ НЕРОВНОСТИ ФОРМИРУЮТСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ОПРЕДЕЛЯЮТ ТОПОГРАФИЮ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЛИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1) макроотклонения | 3) волнистость |
| 2) шероховатость | 4) субмикротошероватость. |

4. РАЗЛИЧАЮТ ВИДА ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ

- | | |
|--------|-----------|
| 1) два | 3) четыре |
| 2) три | 4) пять |

5. СОВОКУПНОСТЬ НЕРОВНОСТЕЙ СЛУЧАЙНОЙ ФОРМЫ ИЛИ БЛИЗКОЙ К ПЕРИОДИЧЕСКОЙ, ШАГИ КОТОРЫХ ЗНАЧИТЕЛЬНО ПРЕВЫШАЮТ ШАГИ НЕРОВНОСТЕЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ – ЭТО..... ПОВЕРХНОСТИ.

6. СОВОКУПНОСТЬ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ С ОТНОСИТЕЛЬНО МАЛЫМИ ШАГАМИ, ВЫДЕЛЕННАЯ, НАПРИМЕР, С ПОМОЩЬЮ БАЗОВОЙ ДЛИНЫ - ПОВЕРХНОСТИ.

7. УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ R_z - ЭТО

- 1) среднее арифметическое отклонение профиля поверхности
- 2) средняя высота неровностей по десяти точкам
- 3) средний шаг неровностей по средней линии
- 4) максимальная высота неровностей

8. УКАЖИТЕ, КАКОЕ НЕРАВЕНСТВО СООТВЕТСТВУЕТ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

$$1) \frac{S_w}{W_c} < 40$$

$$2) 40 < \frac{S_w}{W_c} < 1000$$

$$3) 1 = \frac{S_w}{W_c}$$

9. УКАЖИТЕ ВЫСОТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ:

$$1) R_z; S_m; t_p$$

$$3) R_a; S_i; S_m$$

$$2) R_z; R_a; R_{max}$$

$$4) R_{max}; S_i; t_p$$

10. УКАЖИТЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ:

$$1) R_z; R_a; R_{max}$$

$$3) R_z; R_{max}; S_m$$

$$2) t_p; S_i; R_a$$

$$4) S_i; S_m; t_p$$

11. УКАЖИТЕ, КАКОЙ ИЗ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ЧАЩЕ ПРИМЕНЯЕТСЯ ПРИ ЕЁ НОРМИРОВАНИИ:

$$1) S_i \quad 2) R_a \quad 3) R_{max} \quad 4) t_p$$

12. ЕСЛИ ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВЕРГАЕТСЯ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ НАГРУЗКАМ, ТО НА ЧЕРТЕЖЕ ДЕТАЛИ НОРМИРУЮТСЯ ПАРАМЕТРЫ ...

$$1) R_z \text{ и } S$$

$$2) t_p \text{ и направление неровностей}$$

$$3) R_{max}, S_m \text{ и направление неровностей}$$

$$4) R_a \text{ (или } R_z)$$

13. ЕСЛИ НА ЧЕРТЕЖЕ ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ УКАЗАНА ПАРАМЕТРОМ RZ, ТО ПРИ ЕЕ КОНТРОЛЕ НУЖНО ИЗМЕРЯТЬ

- 1) расстояние между вершинами выступов
- 2) расстояние между линиями выступов и впадин
- 3) текущие координаты профиля y_i
- 4) высоту пяти наибольших выступов и глубину пяти наибольших впадин

14. ЕСЛИ НА ЧЕРТЕЖЕ ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ УКАЗАНА ПАРАМЕТРОМ SI, ТО ПРИ ЕЕ КОНТРОЛЕ НУЖНО ИЗМЕРЯТЬ

- 1) расстояние между вершинами выступов
- 2) расстояние между линиями выступов и впадин
- 3) текущие координаты профиля y_i
- 4) высоту пяти наибольших выступов и глубину пяти наибольших впадин

15. НАУКА О ТРЕНИИ, ИЗНОСЕ, СМАЗКЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ИХ ВЗАИМНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ - ЭТО.....

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1) триботехника | 3) трибохимия |
| 2) трибология | 4) трибофизика |

16. ТЕХНИЧЕСКАЯ НАУКА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНИЕМ ПУТЁМ ПОДБОРА ПАР ТРЕНИЯ, КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ И ПРАВИЛЬНОЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ – ЭТО

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1) триботехника | 3) трибохимия |
| 2) трибология | 4) трибофизика |

17. РАЗДЕЛ ТРИБОТЕХНИКИ, КОТОРЫЙ ИЗУЧАЕТ ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ИХ ВЗАИМНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ – ЭТО ...

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1) триботехника | 3) трибохимия |
| 2) трибология | 4) трибофизика |

18. СЛОЖНАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ОБРАЗУЮЩАЯСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТРУЩИХСЯ ТЕЛ, А ТАКЖЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СРЕДЫ И ЧАСТИЦ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПРОЯВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

ТРЕНИЯ, ИЗНАШИВАНИЯ, ТЕПЛООБРАЗОВАНИЯ И СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ – ЭТО

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1) трибосопряжение | 3) трибоматериаловедение |
| 2) трибосистема | 4) трибомеханика |

19. СВОЙСТВО ТРИБОСИСТЕМЫ, ПРИ КОТОРОМ РЕАЛИЗУЮТСЯ УСТОЙЧИВЫЕ СОСТОЯНИЯ С ПРИЕМЛЕМО НИЗКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ СИЛ ТРЕНИЯ – ЭТО

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1) антифрикционность | 3) фрикционность |
| 2) трибосистема | 4) трибометрия |

20. СВОЙСТВО ТВЁРДЫХ ТЕЛ НЕОБРАТИМО ПРЕВРАЩАТЬ В ТЕПЛОТУ МЕХАНИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ, СООБЩЕННУЮ ТЕЛУ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ – ЭТО ...

- | | |
|----------------------|----------------|
| 1) внешнее трение | 3) неупругость |
| 2) внутреннее трение | 4) вязкость |

21. ТРЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДВУХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ, ПРИ КОТОРОМ СКОРОСТИ ТЕЛ В ТОЧКАХ КАСАНИЯ РАЗЛИЧНЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ И (ИЛИ) НАПРАВЛЕНИЮ – ЭТО ТРЕНИЕ

- | | |
|-------------|---------------|
| 1) движения | 3) скольжения |
| 2) качения | 4) верчения |

22. ТРЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДВУХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ, ПРИ КОТОРОМ ИХ СКОРОСТИ В ТОЧКАХ КАСАНИЯ ОДИНАКОВЫ НО ВЕЛИЧИНЕ И НАПРАВЛЕНИЮ – ЭТО ТРЕНИЕ

- | | |
|-------------|---------------|
| 1) движения | 3) скольжения |
| 2) качения | 4) верчения |

23. ТРЕНИЕ ПРИ ВРАЩЕНИИ ОДНОГО ТЕЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ИЛИ ВНУТРИ ДРУГОГО ТЕЛА – ЭТО ТРЕНИЕ

- | | |
|-------------|---------------|
| 1) движения | 3) скольжения |
| 2) качения | 4) верчения |

24. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ – ЭТО...

- 1) трибоника
- 2) трибология
- 3) восстановление детали
- 4) триботехника

25. ПРОЦЕСС ОТДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА С ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПРИ ТРЕНИИ И НАКОПЛЕНИИ УСТАЛОСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ПРОЯВЛЯЮЩИХСЯ В ПОСТЕПЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения
- 6) износ
- 7) поверхность трения

26. ПРОЦЕСС ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ СХВАТЫВАНИЯ И ПЕРЕНОСА МАТЕРИАЛА – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения
- 6) износ
- 7) поверхность трения

27. ЯВЛЕНИЕ МЕСТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДВУХ ТЕЛ, ПРОИСХОДЯЩЕЕ ПРИ ТРЕНИИ ВСЛЕДСТВИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения
- 6) износ
- 7) поверхность трения

28. ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ В ВИДЕ ШИРОКИХ И ГЛУБОКИХ БОРОЗД В НАПРАВЛЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения

- 6) износ
- 7) поверхность трения

29. РЕЗУЛЬТАТ ИЗНАШИВАНИЯ – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения
- 6) износ
- 7) поверхность трения

30. СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДВУХ ТЕЛ ПРИ ТРЕНИИ, ПРИЛОЖЕННАЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения
- 6) износ
- 7) поверхность трения

31. ПОВЕРХНОСТЬ ТЕЛ, УЧАСТВУЮЩИХ В ТРЕНИИ – ЭТО ...

- 1) изнашивание
- 2) схватывание
- 3) задир
- 4) заедание
- 5) сила трения
- 6) износ
- 7) поверхность трения

32. ПЛОЩАДЬ, ОБРАЗОВАННАЯ В МЕСТАХ КАСАНИЯ ОБЪЕМНЫМ СМЯТИЕМ ТЕЛ, ОБУСЛОВЛЕННЫМ ВОЛНИСТОСТЬЮ – ЭТО ...

- 1) номинальная площадь контакта
- 2) контурная площадь контакта
- 3) фактическая площадь контакта
- 4) физическая площадь контакта
- 5) теоретическая площадь контакта

33. СУММА ФАКТИЧЕСКИХ МАЛЫХ ПЛОЩАДОК КОНТАКТА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ – ЭТО ...

- 1) номинальная площадь контакта
- 2) контурная площадь контакта
- 3) фактическая площадь контакта
- 4) физическая площадь контакта
- 5) теоретическая площадь контакта

34. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МЕСТО ВСЕХ ВОЗМОЖНЫХ ФАКТИЧЕСКИХ ПЛОЩАДОК КОНТАКТА, ОЧЕРЧЕННОЕ РАЗМЕРАМИ СОПРИКАСАЮЩИХСЯ ТЕЛ – ЭТО ...

- 1) номинальная площадь контакта
- 2) контурная площадь контакта
- 3) фактическая площадь контакта
- 4) физическая площадь контакта
- 5) теоретическая площадь контакта

35. КОНТУРНАЯ ПЛОЩАДЬ КОНТАКТА СОСТАВЛЯЕТ ОТ НОМИНАЛЬНОЙ

- 1) несколько тысячных процента
- 2) несколько сотых процента
- 3) несколько десятых процента
- 4) несколько процентов
- 5) несколько десятков процентов

36. ФАКТИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДЬ КОНТАКТА СОСТАВЛЯЕТ ОТ НОМИНАЛЬНОЙ ...

- 1) несколько тысячных процента
- 2) несколько сотых процента
- 3) несколько десятых процента
- 4) несколько процентов
- 5) несколько десятков процентов

37. ВОЗНИКНОВЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СЛОЯМИ РАЗНОРОДНЫХ ТВЕРДЫХ ИЛИ ЖИДКИХ ТЕЛ – ЭТО ...

- 1) адсорбция
- 2) адгезия
- 3) когезия
- 4) адсорбат
- 5) адсорбент

38. ВОЗНИКНОВЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СЛОЯМИ ОДНОРОДНЫХ ТВЕРДЫХ ИЛИ ЖИДКИХ ТЕЛ – ЭТО ...

- 1) адсорбция
- 2) адгезия
- 3) когезия
- 4) адсорбат
- 5) адсорбент

39. КОНЦЕНТРАЦИЯ ЖИДКИХ ИЛИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ИЛИ ЖИДКОСТЕЙ – ЭТО ...

- 1) адсорбция
- 2) адгезия
- 3) когезия
- 4) адсорбат
- 5) адсорбент

40. ЖИДКОСТНАЯ СМАЗКА, ПРИ КОТОРОЙ ПОЛНЕЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДАВЛЕНИЕ, САМОВОЗНИКАЮЩЕГО В ЖИДКОСТИ ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАЗЫВАЕТСЯ ...

- 1) гидродинамическая
- 2) гидростатическая
- 3) граничная
- 4) эластогидродинамическая
- 5) смешанная

41. ЖИДКОСТНАЯ СМАЗКА, ПРИ КОТОРОЙ ПОЛНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В ОТНОСИТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ ИЛИ ПОКОЕ, ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ЖИДКОСТЬЮ, ПОСТУПАЮЩЕЙ В ЗАЗОР МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЯМИ ПОД ВНЕШНЕМ ДАВЛЕНИЕМ НАЗЫВАЕТСЯ ...

- 1) гидродинамическая
- 2) гидростатическая
- 3) граничная
- 4) эластогидродинамическая
- 5) смешанная

42. ЖИДКОСТНАЯ СМАЗКА, ПРИ КОТОРОЙ ТРЕНИЕ И ТОЛЩИНА ПЛЕНКИ ЖИДКОГО МАТЕРИАЛА МЕЖДУ ДВУМЯ ПОВЕРХНОСТЯМИ, НАХОДЯЩИМИСЯ В ОТНОСИТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ, ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛОВ, А ТАКЖЕ РЕОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НАЗЫВАЕТСЯ ...

- 1) гидродинамическая
- 2) гидростатическая
- 3) граничная
- 4) эластогидродинамическая
- 5) смешанная

43. СМАЗКА, ПРИ КОТОРОЙ ТРЕНИЕ И ИЗНОС МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЯМИ, НАХОДЯЩИМИСЯ В ОТНОСИТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ, ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И СВОЙСТВАМИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НАЗЫВАЕТСЯ ...

- 1) гидродинамическая
- 2) гидростатическая
- 3) граничная
- 4) эластогидродинамическая
- 5) смешанная

44. СМАЗКА, ПРИ КОТОРОЙ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ЧАСТИЧНО ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ, ЧАСТИЧНО ГРАНИЧНАЯ СМАЗКА НАЗЫВАЕТСЯ ...

- 1) гидродинамическая
- 2) гидростатическая
- 3) граничная
- 4) эластогидродинамическая
- 5) смешанная

45. ПЕРЕНОС ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ХАОТИЧЕСКИМ ТЕПЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МОЛЕКУЛ (АТОМОВ) В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ – ЭТО ...

- 1) дифференциал
- 2) диффузия
- 3) кавитация
- 4) борирование

46. МЕХАНИЧЕСКОЕ ИЗНАШИВАНИЕ СОПРИКАСАЮЩИХСЯ ТЕЛ ПРИ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ ОТНОСИТЕЛЬНОМ МИКРОСМЕЩЕНИИ – ЭТО ...

- 1) фреттинг
- 2) диффузия
- 3) кавитация
- 4) контакт

47. СИЛА СЦЕПЛЕНИЯ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ, АТОМАМИ ИЛИ ИОНАМИ ВЕЩЕСТВА ВНУТРИ ОДНОГО ТВЁРДОГО ТЕЛА – ЭТО

....

- 1) фреттинг
- 2) диффузия
- 3) адгезия
- 4) когезия

48. СЛИПАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДВУХ РАЗНОРОДНЫХ ТВЁРДЫХ ИЛИ ЖИДКИХ ТЕЛ – ЭТО ...

- 1) фреттинг
- 2) диффузия
- 3) адгезия
- 4) когезия

49. СПОСОБЫ ПОДАЧИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛЫ ТРЕНИЯ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕГО УМЕНЬШАЮТСЯ ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ – ЭТО ...

- 1) смазывание
- 2) присадки
- 3) смазка
- 4) консервирование

50. СВОЙСТВО МАТЕРИАЛА ОКАЗЫВАТЬ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗНАШИВАНИЮ В ОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ, ОЦЕНИВАЕМОЕ ВЕЛИЧИНОЙ, ОБРАТНОЙ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ИЛИ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ – ЭТО

...

- 1) износ
- 2) изнашивание
- 3) износостойкость
- 4) интенсивность

Учебное издание

Будко Сергей Иванович
Киселева Лариса Сергеевна
Кузюр Василий Михайлович

ТРИБОТЕХНИКА

Методические указания к лабораторным работам

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 08.02.2021. Формат 60x84 1/16. Бумага печатная.
Усл. п.л 4,94. Тираж 50. Изд. № 6840.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский р-он., с. Кокино, Брянский ГАУ