



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Л.Б. Леонтьев

(подпись)

«29» июня 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой
сварочного производства

А.В. Гридасов

(подпись)

«29» июня 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Триботехника

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

магистерская программа «Оборудование и технология сварочного производства»

Форма подготовки очная

курс 1 семестр 1

лекции 18 час.

практические занятия 36 час.

лабораторные работы - час.

в том числе с использованием МАО лек. 2 /пр. 2 /лаб. - час.

всего часов аудиторной нагрузки 54 час.

в том числе с использованием МАО 4 час.

самостоятельная работа 63 час.

в том числе на подготовку к экзамену 27 час.

контрольные работы 1

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет - семестр

экзамен 1 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 № 12-13-1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры сварочного производства протокол № 15 от «29» июня 2017 г.

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент, Гридасов А.В.

Составитель (ли): профессор, Леонтьев Л.Б., Токликишвили А.Г.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Рабочая программа учебной дисциплины «Триботехника» предназначена для направления подготовки 15.04.01 Машиностроение, магистерская программа «Оборудование и технология сварочного производства».

Общая трудоёмкость освоения дисциплины составляет 4 зачётные единицы, 144 часа и включает в себя следующее:

- лекционные занятия 18 час., в том числе по МАО 2 час.;
- практические занятия 36 час., в том числе по МАО 2 час.;
- лабораторные работы не предусмотрены учебным планом;
- самостоятельная работа студентов 63 час., на подготовку к экзамену 27 час.

Дисциплина «Триботехника» относится к блоку «Дисциплины (модули)» – Б1., «Вариативная часть» – В., «Обязательные дисциплины» – ОД.2.

Дисциплина «Триботехника» логически и содержательно связана с такими курсами, предыдущего уровня образования – бакалавриат, направление 15.03.01 Машиностроение, как: «Математика», «Физика», «Химия», «Инженерная графика», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Механика жидкости и газа», «Теоретические основы надёжности технических систем», «Основы технологии машиностроения», «Основы технологии сварки специальных сталей и сплавов», «Механика разрушений», «Физические основы прочности металлов», «Специальные методы сварки», «Научные исследования в сварке», «Математические методы в машиностроении», «Техническая диагностика», «Химическая физика» и др. А также с изученными ранее на уровне образования – магистратура, направление 15.04.01 Машиностроение, магистерская программа «Оборудование и технология сварочного производства», как:

«Методология научных исследований в машиностроении», «Компьютерные технологии в машиностроении» и др.

Особенности построения и содержания курса

Курс «Триботехника», предназначен для формирования у студентов теоретических основ о природе и закономерностях внешнего трения и изнашивания шероховатых поверхностей, современных теориях трения, в частности молекулярно-механической теории, методах определения коэффициентов трения, расчёте и прогнозировании интенсивности изнашивания; видах, природе и механизме абразивного изнашивания, значении смазок и присадок при трении и изнашивании, методике подбора материалов для трущихся деталей, методах повышения износостойкости, трении и изнашивании в особых условиях (в агрессивных средах, вакууме, при низких и высоких температурах), методах и оборудовании, применяемых для исследований трения и изнашивания, направления развития.

Цель

Усвоение студентами знаний о трении и износе, с описанием реальных процессов фрикционного взаимодействия твёрдых тел, методами и установками для проведения испытаний на трение и износ, современными фрикционными и антифрикционными материалами и правилами их подбора в зависимости от условий работы, основными зависимостями теорий трения и износа.

Задачи:

- ознакомить студентов с основными положениями теории трения и изнашивания деталей и их применение для оптимизации конструктивных решений узлов трения;

- ознакомить со сведениями о поверхностях деталей, их геометрии, остаточных напряжениях, превращениях в поверхностных слоях и их влиянии на износ;
- ознакомить со сведениями о трении и изнашивании деталей в условиях смазки поверхностей, без смазки, при граничном трении, наличии различных других смазочных материалов на поверхностях трения;
- ознакомить со стадиями изнашивания пар трения, основные закономерности изнашивания, распределение износа между деталями, химическое действие среды при трении;
- обучить студентов применять расчёты на трение и изнашивание деталей узлов трения;
- ознакомить студентов с методами борьбы с износом деталей машин и оборудования.

Для успешного изучения дисциплины «Триботехника» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции (из предыдущего этапа обучения по направлению 15.03.01 Машиностроение):

ОК-14 - способностью к самоорганизации и самообразованию.

ОПК-2 - осознанием сущности и значения информации в развитии современного общества.

ОПК-4 - умением применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; умением применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в машиностроении.

ОПК-5 - способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с

применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.

ПК-1 - способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки.

ПК-2 - умением обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.

ПК-3 - способностью принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения.

ПК-4 - способностью участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности.

ПК-11 - способностью обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления; умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий.

ПК-12 - способностью разрабатывать технологическую и производственную документацию с использованием современных инструментальных средств.

ПК-13 - способностью обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое оборудование.

ПК-14 - способностью участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции.

ПК-15 - умением проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования.

ПК-16 - умением проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ.

ПК-17 - умением выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения.

ПК-18 - умением применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.

ПК-19 - способностью к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции.

Также, для успешного изучения дисциплины «Системное проектирование технологических процессов» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции (на данном этапе обучения по направлению 15.04.01 Машиностроение):

ОК-5 - способность генерировать идеи в научной и профессиональной деятельности.

ОК-7 - способность к свободной научной и профессиональной коммуникации в иноязычной среде.

ОК-10 - способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.

ОК-12 - способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с

применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа.

ОК-14 - способность создавать и редактировать тексты профессионального назначения.

ОПК-1 - способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки.

ОПК-2 - способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.

ОПК-3 - способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере.

ОПК-4 - способность осуществлять экспертизу технической документации.

ОПК-10 - способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников.

ОПК-13 - способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения.

ОПК-14 - способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении.

ПК-4 - способность выбирать и разрабатывать износостойкие и антифрикционные материалы для деталей узлов трения.

ПК-5 - способность выбирать технологические способы повышения износостойкости и эксплуатационных свойств деталей узлов трения.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные/ общепрофессиональные/ профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-3 – способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии	Знает	Материалы, технологии сварки и родственных процессов, оборудование и технику сварочного и металлообрабатывающего производства, технологические процессы и операции, экономическую базу.
	Умеет	Производить анализ поставленной проблемы, компилировать информацией для решения поставленной задачи, производить оценку качества на всех стадиях производства.
	Владет	Технико-экономической, технико-научной информационными базами
ПК-4 – способность выбирать и разрабатывать износостойкие и антифрикционные материалы для деталей узлов трения	Знает	Особенности материалов и их сплавов. Методы комбинирования материалов и технологические процессы для их взаимодействия (физические, химические).
	Умеет	Комбинировать материалы для получения заданных характеристик включая ресурс. Применять технологии или разрабатывать их для соединения материалов между собой.
	Владет	Информационной базой научно-технического достижения как отечественного, так и зарубежного характера. Навыками инженера.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Триботехника» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения:

1. Case-study (анализ конкретных ситуаций, ситуационный анализ)

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

МОДУЛЬ I. Триботехника (18 час., в том числе по МАО 2 час.)

Раздел 1. Основные представления о контактировании и трении соприкасающихся поверхностей (3,6 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Тема 1. Анализ контактирования и оценка площади соприкосновения (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Шероховатость поверхностей. Фактическая площадь контакта. Пластическая и упругая деформации выступов.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Тема 2. Виды трения (1,8 час., в том числе по МАО – 0 час.)

Трение скольжения. Влияние скорости скольжения и температуры на свойства контакта и фрикционные колебания. Трение качения. Гидродинамическое трение.

Раздел 2. Динамические процессы в узлах трения (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Тема 1. Динамических явлений в узлах трения (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Общая характеристика динамических явлений в узлах трения. Узел трения как объект моделирования в динамике машин. Динамическая характеристика узлов трения. Общая схема оценки величины динамического нагружения в узлах трения.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Раздел 3. Строение, физико-химические свойства и особенности состояния поверхностного слоя трущихся деталей (1,8 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Тема 1. Строение и свойства поверхностного слоя трущихся деталей (1,8 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Строение, структура и дефекты материалов пар трения. Физические свойства поверхностных слоев. Влияние механической обработки на служебные свойства поверхностного слоя. Характеристики шероховатости поверхностей. Краткая характеристика некоторых вопросов теории строения, природы свойств и состояния материала поверхностных слоев.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Раздел 4. Изнашивание (3,6 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Тема 1. Виды изнашивания (1,8 час., в том числе по МАО – 0 час.)

Основные характеристики и виды изнашивания. Усталостное изнашивание. Абразивное изнашивание. Коррозионно-механическое изнашивание. Водородное изнашивание. Кинетическая интерпретация изнашивания. Термодинамическая интерпретация изнашивания.

Тема 2. Методы исследования состояния поверхностных слоев (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Физические методы изучения состояния поверхностных слоев. Фрактография износа. Применение рентгеновских методов исследования в трибологии. Общие сведения о проблеме моделирования изнашивания.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Раздел 5. Конструкционные материалы и специфика конструирования узлов трения (3,6 час., в том числе по МАО 0,6 час.)

Тема 1. Конструкционные материалы (1,8 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Металлические антифрикционные материалы. Антифрикционные материалы, получаемые из порошков и пластмасс. Полимерные материалы. Фрикционные материалы.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Тема 2. Конструирование узлов трения (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Основные принципы конструирования подшипниковых узлов. Методы обеспечения высоких эксплуатационных свойств узлов трения.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Раздел 6. Смазывание и смазочные материалы (3,6 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Тема 1. Смазочные материалы (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Назначение смазочных материалов. Смазочные масла, их физико-механические свойства и методики оценки характеристик. Состав масел и механизм смазочного действия.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Тема 2. Функциональные и ресурсо-повышающие присадки (1,8 час., в том числе по МАО 0,2 час.)

Роль функциональных присадок к смазочным маслам. Опыт разработки и применения ресурсо-повышающих присадок к смазочным материалам.

Лекция проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия (22,5 час., в том числе по МАО 2 час.)

МОДУЛЬ I. Триботехника (22,5 час., в том числе по МАО 2 час.)

Занятие 1. Определение силы трения и коэффициента трения скольжения (4,5 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Содержание занятия: проводится приработка образцов при нагрузке 40 Н в течение 10 мин. Затем постепенно увеличивают нагрузку до 400 НВ через каждые 10 мин. В процессе испытания необходимо фиксировать показания момента трения при требуемых нагрузках, указанных в таблице, и занести полученные значения момента трения в упомянутую таблицу. После испытаний рассчитывается коэффициент трения по формуле, приведенной в методичке.

Практическое занятие проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Занятие №2. Влияние шероховатости поверхности на коэффициент трения (4,5 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Содержание занятия: проводится приработка образцов при нагрузке 40 Н в течение 10 мин. Затем постепенно увеличивают нагрузку до 400 НВ через каждые 10 мин. В процессе испытания необходимо фиксировать показания момента трения при требуемых нагрузках, указанных в таблице, и занести полученные значения момента трения в упомянутую таблицу. Образцы для

испытания имеют разную исходную шероховатость. После испытаний рассчитывается коэффициент трения и строится график зависимости коэффициента трения от параметров шероховатости.

Практическое занятие проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Занятие №3. Построение кривой Герси-Штрибека (4,5 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Содержание занятия: Студенты определяют коэффициенты трения при разных нагрузках на пару трения, по результатам эксперимента строят диаграмму Герси-Штрибека и разбивают её на характерные участки, соответствующие разным режимам смазки.

Практическое занятие проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Занятие №4. Определение износостойкости конструкционных материалов при испытании в условиях трения скольжения (4,5 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Содержание занятия: Студенты испытывают пару дисковых образцов её на машине трения, измеряя в процессе эксперимента после определённых отрезков времени размер очага износа на неподвижном образце. По результатам измерений рассчитывают текущую глубину очага износа и строят зависимость износа от пути трения, определяют интенсивность изнашивания и класс износостойкости неподвижных образцов.

Практическое занятие проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Занятие №5. Структура антифрикционных сплавов (4,5 час., в том числе по МАО 0,4 час.)

Содержание занятия: Студенты просматривают структуры разных антифрикционных материалов (баббита, бронзы и чугуна) и зарисовывают

структуры в тетрадь, изучают с помощью прилагаемого к коллекции описания и измерений микро-твёрдости.

Практическое занятие проводится с использованием элементов метода активного обучения «Case-study».

Семинарские занятия (13,5 час.)

Семинарское занятие №1. Особенности динамических явлений в узлах трения» (4,5 час., в том числе по МАО – 0 час.)

1. Общая характеристика динамических явлений в узлах трения.
2. Узел трения как объект моделирования в динамике машин.
3. Динамическая характеристика узлов трения.
4. Общая схема оценки величины динамического нагружения в узлах трения.

Семинарское занятие №2. Виды изнашивания (4,5 час., в том числе по МАО – 0 час.)

1. Усталостное изнашивание.
2. Абразивное изнашивание.
3. Коррозионно-механическое изнашивание.
4. Водородное изнашивание.
5. Кавитационное изнашивание.

Семинарское занятие №3. Роль ресурсоповышающих присадок к смазочным маслам и опыт их применения (4,5 час., в том числе по МАО – 0 час.)

1. Назначение и состав ресурсоповышающих присадок к смазочным маслам.
2. Опыт применения и эффективность ресурсоповышающих присадок к смазочным маслам.

3. Минеральные и органоминеральные материалы, применяемые для создания металлокерамических пленок на поверхностях трения.

4. Применение геомодификаторов трения в качестве присадки к маслам.

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Триботехника» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план – график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристики заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы/ темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства - наименование		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
МОДУЛЬ I. Триботехника					
Раздел 1. Основные представления о контактировании и трении соприкасающихся поверхностей					
1	Тема 1. Анализ контактирования и оценка площади соприкосновения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2	

				ПР-7 ПР-11	
2	Тема 2. Виды трения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7	
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7	
Раздел 2. Динамические процессы в узлах трения					
3	Тема 1. Динамических явлений в узлах трения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
Раздел 3. Строение, физико-химические свойства и особенности состояния поверхностного слоя трущихся деталей					
4	Тема 1. Строение и свойства поверхностного слоя трущихся деталей	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
Раздел 4. Изнашивание					
5	Тема 1. Виды изнашивания	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7	
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7	
6	Тема 2. Методы исследования состояния поверхностных слоев	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
Раздел 5. Конструкционные материалы и специфика конструирования узлов трения					

7	Тема 1. Конструкционные материалы	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
8	Тема 2. Конструирование узлов трения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
Раздел 6. Смазывание и смазочные материалы					
9	Тема 1. Смазочные материалы	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
10	Тема 2. Функциональные и ресурсоповышающие присадки	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Умеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	
			Владеет	УО-1 ПР-2 ПР-7 ПР-11	

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования

компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Триботехника : учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] / Д. Н. Гаркунов, Э. Л. Мельников, В. С. Гаврилук. — Москва : КноРус, 2015. — 408 с. — Для бакалавров. — ISBN 978-5-406-03934-2. Режим доступа: <https://www.book.ru/book/918925/view2/7>

2. Современная трибология : итоги и перспективы / [Э. Д. Браун, И. А. Буяновский, Н. А. Воронин и др.]; отв. ред. К. В. Фролов; Российская академия наук, Институт машиноведения. Москва: [ЛКИ], [2008]. 476 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:259949&theme=FEFU>

3. Триботехнические задачи в узлах трения деталей машин: учебное пособие / Е. Г. Кравченко ; Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. Комсомольск-на-Амуре: [Изд-во Комсомольского-на-Амуре технического университета], 2008. 119 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:660689&theme=FEFU>

4. Триботехника: учебник для вузов / В.В. Шаповалов, В.А. Кохановский, А.Ч. Эркенов; под редакцией В. В. Шаповалова. Ростов-на-Дону : Феникс, 2017. 351 с.

Дополнительная литература

(печатные и электронные издания)

1. Справочник по триботехнике в 3-х т. : т. 3 . Триботехника антифрикционных, фрикционных и сцепных устройств. Методы и средства

триботехнических испытаний / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, Варшава: ВКЛ, 1992. 730 с.

2. Триботехнические задачи в узлах трения деталей машин: учебное пособие / Е. Г. Кравченко; Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. Комсомольск-на-Амуре: [Изд-во Комсомольского-на-Амуре технического университета], 2008. 119 с.

3. Основы трибологии и триботехники : учебное пособие для вузов / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин. Изд. 2-е, стер. Москва: Машиностроение, 2014. 207 с.

4. Войнов, К. Н. Триботехника и надёжность механических систем [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / К.Н. Войнов. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2014. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65322.html>

5. Густов, Ю. И. Триботехника строительных машин и оборудования [Электронный ресурс]: монография / Ю.И. Густов. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2011. — 192 с. — 978-5-7264-0507-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16326.html>

6. Нетрадиционная триботехника для безремонтного восстановления сопряжений трения узлов и агрегатов машин и оборудования / А. В. Дунаев. Горный журнал: ежемесячный научно-технический и производственный журнал . - 2013. - № 3. С.85-87.

7. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд. переработ. и доп. / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с., ил.

8. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. Учебное пособие для студентов специальности 170515 / РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковский институтж; Б. П. Сафонов, А. В. Бегова. Новомосковск, 2004. 65 с.

9. Сорокин, В. М. Основы триботехники и упрочнения поверхностей деталей машин // В. М. Сорокин, А. С. Курников / Курс лекций по дисциплине «Основы триботехники и технологии упрочнения деталей» и задания для выполнения контрольной работы – Н. Новгород. Издательство ФГОУ ВПО ВГАВТ. 2006. – 296 с.

10. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учебник для вузов / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский; Под ред. Д. Г. Громаковского; Самар. гор. техн. ун-т. Самара, 2000. 268 с.

11. Мерекутов, М. А. Основы триботехники. Курс лекций по дисциплине «Основы триботехники»: учебное пособие. – Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2012. – 88 с.

12. ЭБС «Znanium.com» Доценко, А. И. Основы триботехники: учебник / А. И. Доценко, И. А. Буяновский. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 336 с. Режим доступа: <http://znanium.com/>

13. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем: учебник / В. А. Зорин. – М.: Академия, 2009. – 208 с.

14. ЭБС «Znanium.com» Оценка надежности машин и оборудования: теория и практика: учеб. / И. Н. Кравченко и др.; под ред. И. Н. Кравченко. – М. : Альфа-М: Инфа-М, 2012. – 336 с.: - Режим доступа: <http://znanium.com/>

15. Лужнов, Ю. М. Основы триботехники: учебн. Пособие / Ю. М. Лужнов, В. Д. Александров; под ред. Ю. М. Лужнова. – С.: МАДИ, 2013. – 136 с.

16. Мышкин, Н. К., Петроковец М. И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. Учебное пособие. Москва.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.-367 с.

17. Пенкин, Н. С. Основы трибологии и триботехники. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2011. – 208 с.
18. Фукс И. Г., Буяновский И. А. Введение в трибологию: Учебное пособие. – М.: Нефть и газ, 1995. – 278 с.
19. Гаркунов, Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., переаб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. 616 с., ил 280.

Нормативно-правовые материалы

1. ГОСТ Р 50740-95. Триботехнические требования и показатели. Принципы обеспечения. Общие положения. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Техническим комитетом "Испытания и расчеты на прочность и ресурс" (ТК 128) ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 13.02.95 N 50 <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-50740-95>.

2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ Р 50-54-107-88 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ (Госстандарт СССР) Всесоюзный научно-исследовательский институт по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ) Утверждены Приказом ВНИИНМАШ № 33 от 8.2.88 г.

3. ПО С Т А Н О В Л Е Н И Е П РА В И Т Е Л Ъ С Т В А Р О С С И Й С К О Й Ф Е Д Е Р А Ц И И от 6 июня 1992 г. N 387 г. Москва. О преобразовании Межведомственного научного совета по трибологии при АН СССР, ГКНТ СССР и Союзе НИО СССР в Межведомственный научный совет по трибологии при РАН, Миннауки России и Союзе НИО.

4. Международный (зарубежный) стандарт Анализ отказов - Дефекты термопластических продуктов, сделанных из пластмассы, вызываемые вызванным трибологией напряжением VDI 3822 BLATT 2.1.6-2012 Failure analysis - Defects of thermoplastic products made of plastics caused by tribology-induced stress Дата принятия: 01 января 2012.

5. Международный (зарубежный) стандарт Промышленная трибология: Tribosystems, трение, износ и поверхностная разработка, смазка WILEY IND TRIB-2010 Industrial Tribology: Tribosystems, Friction, Wear and Surface Engineering, Lubrication Дата принятия: 01 января 2010.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://standard.gost.ru> (Росстандарт);
2. <http://www.amp.ru> (Научно-технический центр «Автоматизированное Проектирование Машин»);
3. <http://encycl.yandex.ru> (Энциклопедии и словари);
4. https://lib.dvfu.ru:8443/search/query?term_1=%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0&theme=FEFU На сайте представлен лекционный курс, учебники по дисциплине.
5. <http://www.iprbookshop.ru/65322.html> На сайте представлен лекционный курс, учебники по дисциплине.

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса доступно следующее программное обеспечение:

Microsoft Office Professional Plus – офисный пакет, включающий программное обеспечение для работы с различными типами документов (текстами, электронными таблицами, базами данных и др.) – номер лицензии Standard Enrollment 62820593. Дата окончания 2020-06-30. Родительская

программа Campus 3 49231495. Торговый посредник: JSC "Softline Trade"
Номер заказа торгового посредника: Tr000270647-18.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом доступен электронный ресурс сайта ДВФУ (<https://www.dvfu.ru>):

- Научная библиотека ДВФУ (<https://www.dvfu.ru/library>);
- Портал ДВФУ (<https://ip.dvfu.ru>);
- Система электронных курсов ДВФУ Blackboard Learn (<https://bb.dvfu.ru>);
- Электронная почта ДВФУ (<http://mail.dvfu.ru>);
- Техническая поддержка ИТ-сервисов ДВФУ (<https://www.dvfu.ru/support>).

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Время, отведённое на реализацию дисциплины

Теоретическая часть курса, проводимая в аудиториях/лабораториях ДВФУ (с преподавателем/руководителем) – 18 часов, в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 2 часа.

Практическая часть курса, проводимая в аудиториях/лабораториях ДВФУ (с преподавателем/руководителем) – 36 часа, в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 2 часов.

Всего часов аудиторной нагрузки (с преподавателем/руководителем) – 54 часов, в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 4 часов.

Время на самостоятельную работу (без преподавателя/руководителя) как теоретической, так и практической частей курса – 63 часа, в том числе на подготовку к экзамену – 27 часов.

Рекомендации по планированию и организации времени, на изучение дисциплины

Время, отведённое на изучение дисциплины, должно быть использовано обучающимся планомерно. Время на изучение дисциплины указывается на титульном листе рабочей программы учебной дисциплины; в учебном плане, по конкретному направлению и форме обучения, ознакомится с ним вы можете на своей кафедре или в учебно-методическом управлении.

Планирование времени – эффективный вариант организация учебной деятельности. Общие рекомендации составления планирования:

1. Своевременный и полный учет задач, вытекающих из содержания профессиональной деятельности (например, по написанию курсового проекта).

2. Регулярное распределение рабочего времени в соответствии с приоритетностью и сложностью задач, выделение части времени в резерв.
3. Документирование результатов планирования и организации рабочего времени (составление текущих и перспективных планов работы).
4. Делегирование полномочий, связанных с выполнением менее срочных и менее важных задач, своим коллегам.
5. Учет работоспособности в течение периода, отведенного для работы (в течение дня, недели, месяца, года).
6. Концентрация усилий на первоочередном решении задач, от которых, в свою очередь, зависит решение задач второго уровня значимости (срочности, важности).
7. Умелое использование информации в процессе планирования и организации рабочего времени.
8. Способность к самоограничению (умение говорить «нет», когда значимость той или иной задачи и, следовательно, необходимость ее выполнения не являются очевидными).
9. Самоконтроль расходования времени в ходе выполнения задач профессиональной деятельности.
10. Стремление к постоянному совершенствованию системы планирования и организации рабочего времени.

Описание последовательности действий обучающихся при изучении дисциплины

В соответствии с целями и задачами дисциплины студент изучает и готовится к теоретическим/практическим/лабораторным/семинарным занятиям, проходит контрольные точки текущей и промежуточной аттестации, включающие разные формы проверки усвоения материала (конспекты, отчёты, тесты, рефераты, зачёт, экзамен, контрольные мероприятия).

Освоение дисциплины включает несколько составных элементов учебной деятельности:

1. Ознакомление рабочей программы учебной дисциплины.
2. Выполнение требований, установленных преподавателем (руководителем) в рамках профессиональной деятельности сотрудника ДВФУ.
3. Регулярная подготовка к занятиям и активная работа на них, включающая следующее общее планирование:

№ п/п	Наименование этапа	Содержание задач этапа
1	Обработка информации	Сбор, учет, систематизация, анализ информации, необходимой для надлежащего планирования и организации профессиональной деятельности, а также актуализация и оперативный обмен информацией с руководителем, коллегами и деловыми партнерами.
2	Постановка целей и задач	Предварительное, а затем окончательное формулирование целей и задач, доклад соответствующих предложений руководителю.
3	Планирование	Разработка (участие в разработке) документов планирования (планов, программ, графиков и т. п.) по направлениям и периодам профессиональной деятельности, их согласование по срокам и методам реализации, определение состава привлекаемых к их реализации сил и средств.
4	Подготовка решения	Представление проектов документов планирования, а также предложений, направленных на выработку оптимального решения, уточнение проектов и доведение принятых решений (утвержденных планов работы по направлениям и периодам) до сведения лиц, ответственных за руководство.
5	Реализация решения	Непосредственная реализация решений, участие в их реализации, делегирование полномочий, координация работы ответственных за реализацию, обработка информации о ходе реализации решений, ее передача руководителю.
6	Контроль реализации решения	Планирование и организация контрольных мероприятий, учет и сравнение результатов контроля с планируемыми показателями, доклады руководителю.
7	Корректировка решений	Сбор, учет, систематизация, анализ информации, выработка и представление руководителю предложений по корректировке решений (отдельных действий в рамках реализации таких решений)
8	Оценка и анализ результатов	Сбор, учет, систематизация, анализ информации, отражающей результаты реализации решений, подведение итогов профессиональной деятельности (за период или по направлению – текущая/промежуточная аттестация)

Рекомендации по работе с информационными источниками

Работа с информацией – процесс нахождения знаний (информации) о причинах возникновения проблем, применённых инженерных решений/идей, современного состояния объекта исследования.

Поиск информации по дисциплине и её дальнейшей обработки следует начинать с:

- проработки тематического плана – теоретическая и практическая части курса;
- классификации информационного материала;
- составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между рассматриваемыми темами;
- составления новой библиографии, при неудовлетворении предложенной.
- реферирования – краткое, основное содержание одной и более работ по теме.
- конспектирования – детальное изложение главных положений и концептуальных идей.
- аннотирования (аннотация) – краткое, предельно сжатое изложение основного содержания литературных источников.
- цитирования - дословная запись высказываний, выражений автора, а также приведение в тексте работы фактических и статистических данных, содержащихся в литературных источниках.

Для реализации информации в письменном/машинно-печатном виде необходимо выполнять общепринятые требования по оформлению - ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам; ПРИКАЗ № от ФГАОУВО ДВФУ,

Рекомендации по подготовке к текущей/промежуточной аттестации

Успешное освоение программы курса предполагает:

- усвоение теоретической части курса;
- выполнение требований преподавателя (руководителя), установленных преподавателем (руководителем) в рамках профессиональной деятельности сотрудника ДВФУ;

- выполнение практической части курса (практические задания/лабораторные работы/тесты/контрольные мероприятия/курсовые работы/курсовые проекты и др.).

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение теоретической части дисциплины предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

<p>690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L348 - учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и практик</p>	<p>Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 16) Оборудование: доска аудиторная – 1 шт., Прибор измерения параметров шероховатости обработанной поверхности ContourGT-1; Трибометр УМТ-3; Кондиционер; Мойка с сушкой, МДС-Се1200Нг; монитор LCD 19".клав..компьютер HP; Системный блок (Intel Core i5-660); Стол антивибрационный СА-Г1200; Стол лабораторный угловой СЛу-Ch1200; Стол мобильный, СМН-Ch900 с поворотными резиновыми – 2 шт.; Стол пристенный физический СПФ-Се1500 – 4 шт.; Табурет лабораторный ТЛ-001 – 3 шт.; Тумба подкатная, ТП-500-2 – 3 шт.; Шкаф вытяжной химический ШВ-Се1500; Шкаф для одежды ШО-900-2; Шкаф для посуды, приборов и документов ШП-900-4; Шкаф для хранения образцов ШХО-900-2.</p>
--	--



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ
по дисциплине «Триботехника»
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
магистерская программа «Оборудование и технология сварочного производства»
Форма подготовки очная**

Владивосток

2017

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
	Очн. (1 семестр)			
МОДУЛЬ I. Триботехника				
1	с 1 – по 18 неделю	Освоение 6 Разделов; Освоение интерактивных лекций; Подготовка и выполнение практических и семинарских занятий, Подготовка и сдача отчётов. Подготовка к контрольным мероприятиям	16	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
2	16 неделя	Текущая аттестация по дисциплине (контрольная работа №1)	2	ПР-2
3	С 19 –по 25неделю	Итоговая аттестация по дисциплине	36	Экзамен
Итого			108 час.	

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Вид учебных занятий	Организация деятельности обучающегося
Занятия лекционного типа	<p>В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы.</p> <p>В ходе лекций обучающимся рекомендуется:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вести конспектирование учебного материала; - обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению; - задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций. <p>В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, дополняющего материал прослушанной лекции, а также пометки, подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.</p> <p>Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой. В случаях пропуска занятия студенту необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме во время индивидуальных консультаций.</p>
Занятия семинарского типа (практические)	<p>Практические занятия – это активная форма учебного процесса. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, учесть рекомендации преподавателя. Темы теоретического содержания предполагают дискуссионный характер обсуждения. Большая часть тем дисциплины носит практический характер, т.е. предполагает выполнение заданий и решение задач, анализ практических ситуаций.</p>
Самостоятельная работа (изучение теоретического курса, подготовка к практическим занятиям)	<p>Важной частью самостоятельной работы является чтение учебной и научной литературы. Основная функция учебников – ориентировать студента в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены будущими специалистами по данной дисциплине.</p>
Подготовка к экзамену	<p>Подготовка к зачету предполагает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - изучение основной и дополнительной литературы

- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">- изучение конспектов лекций- участие в проводимых контрольных опросах |
|--|---|



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Триботехника»
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
магистерская программа «Оборудование и технология сварочного производства»
Форма подготовки очная

Владивосток

2017

**Паспорт
фонда оценочных средств
по дисциплине Триботехника**

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-3 – способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии	Знает	Материалы, технологии сварки и родственных процессов, оборудование и технику сварочного и металлообрабатывающего производства, технологические процессы и операции, экономическую базу.
	Умеет	Производить анализ поставленной проблемы, компилировать информацией для решения поставленной задачи, производить оценку качества на всех стадиях производства.
	Владеет	Технико-экономической, технико-научной информационными базами
ПК-4 – способность выбирать и разрабатывать износостойкие и антифрикционные материалы для деталей узлов трения	Знает	Особенности материалов и их сплавов. Методы комбинирования материалов и технологические процессы для их взаимодействия (физические, химические).
	Умеет	Комбинировать материалы для получения заданных характеристик включая ресурс. Применять технологии или разрабатывать их для соединения материалов между собой.
	Владеет	Информационной базой научно-технического достижения как отечественного, так и зарубежного характера. Навыками инженера.

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы/ темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства - наименование			
			текущий контроль	промежуточная аттестация		
МОДУЛЬ I. Триботехника						
Раздел 1. Основные представления о контактировании и трении соприкасающихся поверхностей						
1	Тема 1. Анализ контактирования и оценка площади соприкосновения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11	
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
2	Тема 2. Виды трения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
Раздел 2. Динамические процессы в узлах трения						
3	Тема 1. Динамических явлений в узлах трения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11	
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
Раздел 3. Строение, физико-химические свойства и особенности состояния поверхностного слоя трущихся деталей						
4	Тема 1. Строение и свойства поверхностного слоя трущихся деталей	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11		
Раздел 4. Изнашивание						

5	Тема 1. Виды изнашивания	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7	
6	Тема 2. Методы исследования состояния поверхностных слоев	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
Раздел 5. Конструкционные материалы и специфика конструирования узлов трения					
7	Тема 1. Конструкционные материалы	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
8	Тема 2. Конструирование узлов трения	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
Раздел 6. Смазывание и смазочные материалы					
9	Тема 1. Смазочные материалы	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	УО-1 УО-2 ПР-2 ПР-11
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
10	Тема 2. Функциональные и ресурсо-повышающие присадки	ПК-3 ПК-4	Знает	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Умеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	
			Владеет	УО-1, ПР-2, ПР-7, ПР-11	

Расшифровка кодеров оценок средств (ОС)				
№ п/п	Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	УО-1	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимися на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объёма знаний обучающегося по определённому разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
2	УО-2	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
4	ПР-2	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определённого типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
5	ПР-7	Конспект	Продукт самостоятельной работы обучающегося, отражающий основные идеи заслушанной лекции, сообщения и т.д.	Темы/разделы дисциплины
6	ПР-11	Кейс задача	Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагается осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы.	Задания для решения кейс-задачи

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	критерии	показатели	
ПК-2 - умением обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.	знает (пороговый уровень)	Моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.	Общие, но неструктурированные знания по моделированию технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов	Основные методы научного познания, применяемых при исследовании технических объектов и технологических процессов. Структуру комплексной САПР и краткую характеристику функциональных подсистем САПР, виды и назначение основных компонентов САПР, классификацию и характеристику средств вычислительной техники для САПР.
автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.	умеет (продвинутый)	Моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов	Моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов	Составлять план экспериментов, формировать комплекс исходных данных для моделирования технологических процессов. Активно применять вычислительную технику в исследовании.
	владеет (высокий)	моделированием технических объектов и технологических	Успешное и систематическое применение навыков	Навыками работы в программах автоматизированного проектирования и

		процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов	моделирования технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.	моделирования; навыками обработки и анализа экспериментальных данных.
ПК-3 - способностью принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения	знает (пороговый уровень)	работу по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения	Общие, но не структурированные знания работы по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения	Базовую структуру и правила оформления научных отчетов; порядок и последовательность мероприятий по внедрению результатов исследований и разработок в области сварочного производства.
	умеет (продвинутый)	принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения.	Составлять технико-экономическое обоснование внедрения научных разработок в производство.
	владеет	способностью	Успешное и	Навыками

	(высокий)	принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения	систематическое владение способностью принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения.	формирования научно-исследовательских отчетов
--	------------	--	---	---

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Критерии оценки презентации доклада

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
Раскрытие проблемы	Проблема не раскрыта. Отсутствуют выводы	Проблема раскрыта не полностью. Выводы не сделаны и/или выводы не обоснованы	Проблема раскрыта. Проведен анализ проблемы без привлечения дополнительной литературы. Не все выводы сделаны и/или обоснованы	Проблема раскрыта полностью. Проведён анализ проблемы с привлечением дополнительной литературы. Выводы обоснованы
Представление	Представляемая информация логически не связана. Не использованы профессиональные термины	Представляемая информация не систематизирована на и/или не последовательна, использовано 1-2 профессиональных термина	Представляемая информация не систематизирована и последовательна. Использовано более 2 профессиональных терминов	Представляемая информация систематизирована, последовательна и логически связана. Использовано более 5 профессиональных терминов
Оформление	Не использованы технологии Power Point. Больше 4 ошибок в представляемой информации	Использованы технологии Power Point частично. 3-4 ошибки в представляемой информации	Использованы технологии Power Point. Не более 2 ошибок в представляемой информации	Широко использованы технологии (Power Point и др.). Отсутствуют ошибки в представляемой информации

<p style="text-align: center;">Ответы на вопросы</p>	<p style="text-align: center;">Нет ответов на вопросы</p>	<p style="text-align: center;">Только ответы на элементарные вопросы</p>	<p style="text-align: center;">Ответы на вопросы полные и/или частично полные</p>	<p style="text-align: center;">Ответы на вопросы полные, с приведением примеров и/или пояснений</p>
--	---	--	---	---

Критерии оценки (письменный ответ)

100-86 баллов - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

85-76 - баллов - знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

75-61 - балл - фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

60-50 баллов - незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

Критерий оценки (устный ответ)

100-85 баллов - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

60-50 баллов - ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы,

слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

**Критерии оценки творческого задания,
выполняемого на практическом занятии**

100-86 баллов выставляется, если студент/группа выразили своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировали его, точно определив ее содержание и составляющие. Приведены данные отечественной и зарубежной литературы, статистические сведения, информация нормативно - правового характера. Продемонстрировано знание и владение навыком самостоятельной исследовательской работы по теме исследования; методами и приемами анализа международно-политической практики. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет.

85-76 - баллов - работа студента/группы характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы. Для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов. Продемонстрированы исследовательские умения и навыки. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет.

75-61 балл - проведен достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимание базовых основ и теоретического обоснования выбранной темы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы.

60-50 баллов - если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура и теоретическая

составляющая темы. Допущено три или более трех ошибок смыслового содержания раскрываемой проблемы.

Оценочные средства для текущей аттестации студентов

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Триботехника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Триботехника» проводится в форме контрольных мероприятий – защита практических работ; предоставление конспекта; представление и защита докладов (как документ и как презентация); контрольные работы (оценивание усвоенных теоретических знаний) – по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Тест №1

1. Как называется пара трения, если подвижный элемент имеет более высокую твердость и большую рабочую площадь, чем неподвижный: $H_p > H_n$; $S_p > S_n$?

1. Прямой парой трения
2. Обратной парой трения
3. Обратной парой по геометрии

2. Какой вид изнашивания характерен при работе гребного винта судна в пресной воде?

1. Кавитационный
2. Абразивный
3. Усталостный

3. Какой вид контактирования рассматривается как недопустимый при работе пары трибосопряжения?

1. Упругое контактирование
2. Пластическое деформирование
3. Микрорезание

4. Смазочные материалы какого вида наиболее эффективно снижают коэффициент трения?

1. Жидкостные
2. Твердые
3. Газовые

5. Как изменяется скорость изнашивания на стадии приработки?

1. Увеличивается
2. Уменьшается

3. Не меняется

6. В каком случае развивается фреттинг – процесс?

1. При циклических нагрузках
2. При относительных микроперемещении трущихся поверхностей
3. При ударных нагрузках

7. Какое сочетание свойств материалов не рекомендовано при выборе материалов трущихся изделий?

1. Твердое – мягкое
2. Твердое – твердое
3. Твердое – мягкое

8. Каким свойством обладают изделия, изготовленные из стали ШХ15?

1. Высокой контактной выносливостью.
2. Высокой стойкостью к абразивному изнашиванию в условиях ударных нагрузок.
3. Высокой стойкостью к коррозионному изнашиванию.

9. Для изготовления каких изделий используется сплав Б83?

1. Подшипников качения
2. Подшипников скольжения
3. Зубчатых колес

10. Что можно отнести к недостаткам баббитов?

1. Низкую температуру плавления
2. Низкую контактную выносливость
3. Низкий коэффициент трения в паре со сталью

11. Какая структурная составляющая серых чугунов обеспечивает им хорошие антифрикционные свойства?

1. Графит
2. Цементит
3. Феррит

12. В результате чего происходит повышение твердости поверхностных слоев изделий при поверхностном пластическом деформировании?

1. По причине наклепа
2. Из-за образования мартенсита
3. По причине возникновения напряжений сжатия в поверхностных слоях.

13. Как зависит глубина упрочненного слоя при закалке ТВЧ от частоты переменного тока?

1. Чем выше частота, тем больше глубина
2. Чем выше частота, тем меньше глубина
3. Глубина не зависит от частоты тока

14. Какой вид химико-термической обработки вызывает наряду с повышением износостойкости повышение коррозионной стойкости?

1. Цементация
2. Азотирование
3. Борирование

15. Как влияет нанесение гальванических покрытий на усталостную прочность?

1. Повышает усталостную прочность
2. Понижает ее усталостную прочность
3. Не влияет

Тест №2

1. Совокупность каких характеристик понимают под качеством поверхности, определяющих ее состояние?

- А) Кинематических, физических, химических и механических.
- В) Физических, химических, механических и силовых.
- С) Геометрических, кинематических, силовых, химических
- Д) Геометрических, силовых, химических и механических.
- Е) Геометрических, физических, химических и механических.

2. Какие виды являются наиболее распространенными видами изнашивания?

- А) Абразивное, адгезионное, усталостное кавитационное, коррозионное и эрозионное.
- В) Молекулярное, адгезионное, механическое, усталостное, коррозионное и физическое.
- С) Адгезионное, механическое физическое, коррозионное, эрозионное и молекулярное.
- Д) Адгезионное, усталостное, молекулярное, физическое, кавитационное и эрозионное.
- Е) Абразивное, механическое, молекулярное, коррозионное, физическое и адгезионное.

4. Без анализа каких характеристик невозможен успешный выбор материалов?

- А) Геометрических и динамических
- В) Геометрических, кинематических и динамических
- С) Конструкционных и кинематических
- Д) Конструкционных и динамических
- Е) Геометрических, кинематических и динамических.

5. При каких деформациях в зонах касания твердых тел какова величина толщина слоев, вовлекаемых в деформацию?

- А) При пластических деформациях 17-78 мкм

- В) При упругих деформациях, 5-62 мкм
- С) При упруг-пластических деформациях, 0-25 мкм
- Д) При упругих деформациях, 0-16 мкм
- Е) При упруг-пластических деформациях, 10-45 мкм

Тест №3

1. Свойство трибосистемы обеспечивать состояния с приемлемо высокими значениями сил трения.

- а) антифрикционность
- в) фрикционность
- г) трибомеханика

2. Раздел трибологии, охватывающий проблемы накопления и систематизацию научной информации о фундаментальных исследованиях основных трибологических процессов, с целью прогнозирования результатов контактно-го взаимодействия тел при трении в конкретных условиях работы.

- а) трибодиагностика
- б) трибоанализ
- в) трибомониторинг

3. Раздел трибологии, включающий трибометрию и трибодиагностику поверхностных и подповерхностных слоев материалов пар трения.

- а) трибодиагностика
- б) трибомониторинг
- г) трибометрия
- д) триботехника

4. Внутреннее трение

а) это механическое сопротивление, возникающее в плоскости касания двух соприкасающихся тел при их относительном перемещении, сопровождающееся выделением тепла, электризацией тел, и т.д.

б) это свойство твёрдых тел необратимо превращать в теплоту механическую энергию, сообщенную телу в процессе его деформирования

в) это свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой

5. Сила трения

а) это сила сопротивления при взаимном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, направленной перпендикулярно к общей границе между этими телами

б) это сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, направленной по касательной к общей границе между этими телами

в) это сила, препятствующая возникновению движению одного тела по поверхности другого

6. Свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. 20

а) внешнее трение

б)- внутреннее трение

в) граничное трение

7. Коэффициент сцепления

а) безразмерная величина, равная отношению силы трения к нормальной нагрузке

б) отношение наибольшей силы трения покоя двух тел к нормальной силе, относительно поверхности трения, прижимающей тела друг к другу

в) безразмерная величина, равная отношению момента трения качения к нормальной нагрузке

8. Безразмерная величина, равная отношению силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела друг к другу.

а) коэффициент трения скольжения

б) коэффициент трения качения

в) коэффициент трения

9. Трение движения двух твердых тел, при котором скорости тел в точках касания различны по величине и(или) направлению.

- а) трение движения
- б) трение скольжения
- в) предварительное смещение
- г) трение покоя

10. Трение двух тел при наличии на поверхности трения введенного смазочного материала любого вида.

- а) трение со смазочным материалом
- б) трение без смазочного материала
- в) трение качения с проскальзыванием
- г) трение качения

11. Результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Величина может выражаться в единицах длины, объема, массы и др.

- а) изнашивание
- б) износ
- в) износостойкость
- г) коррозия

12. Назовите виды межатомного взаимодействия в триботехнике (возможно несколько ответов)

- а) ковалентные
- б) химические
- в) физические
- г) молекулярные
- д) ионные 1

13. Какая межатомная связь устанавливается за счет образования устойчивых электронных конфигураций путем обобществления электронов отдельными атомами.

- а) ионная

б) ковалентная (гомеополярная)

г) металлическая

д) Ван-дер-Ваальсова

14. Контакт имеющий место в трибосопряжениях, когда действующая нагрузка и сила молекулярного взаимодействия не приводят к возникновению в поверхностных слоях материалов деталей напряжений, превышающих предел текучести материала.

а) пластический

б) твердый

в) текучий

г) упругий

Оценочные средства для промежуточной аттестации студентов

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Триботехника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

В зависимости от вида промежуточного контроля по дисциплине и формы его организации могут быть использованы различные критерии оценки знаний, умений и навыков.

Вид промежуточной аттестации, предусмотренный по данной дисциплине – экзамен, в устной и письменной формах, с использованием следующих оценочных средств:

- семинарские занятия;
- контрольные работы;
- устный опрос в форме собеседования;
- выполнение письменных заданий;
- самостоятельная работа.

Вопросы для коллоквиумов, собеседования:

1. Свойства масел
2. Сдвигоустойчивое соединение
3. Системы нейтрализованной смазки пластичными и жидкими смазочными материалами.
4. Системы смазки масляным туманом.
5. Смазка, характеристика трения по видам смазки.
6. Смазочные материалы.
7. Смешанное трение.
8. Способы смазывания.
9. Сроки службы трущихся деталей.
10. Стадии и закономерности развития трения.
11. Стадии изнашивания пар трения.
12. Структура жидких смазочных материалов (масел) основа масел, функциональные присадки и антифрикционные добавки.
13. Структура и свойства поверхностного слоя.
14. Структура пластичных смазок, ее формирование и регулирование.
15. Сухое трение.
16. Сущность и виды абразивного изнашивания.
17. Особенность абразивного изнашивания мягких материалов.
18. Сущность окислительного изнашивания. Меры борьбы.
19. Схватывание сущность, целевые проявления, формы схватывания: натир, зазор, заедание, «прикипание».
20. Твердые смазочные материалы Назначение, состав и методы получения.
21. Термическая и химикотермическая обработка поверхностей трения.
22. Термическое трещинообразование.
23. Технологические методы повышения триботехнических свойств.

24. Технологические способы повышения износостойкости деталей.
25. Требование к свойствам и характеристикам пластических смазок.
26. Принцип подбора и применения пластичных смазок.

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине

«Триботехника»:

Баллы	Оценка экзамена	Требования к сформированным компетенциям
100-86	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
85-76	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
75-61	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
60-50	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Вопросы к итоговому контролю

1. Шероховатость поверхностей.
2. Фактическая площадь контакта.
3. Пластическая и упругая деформации выступов.
4. Трение скольжения.
5. Влияние скорости скольжения и температуры на свойства контакта и фрикционные колебания.
6. Трение качения.

7. Гидродинамическое трение.
8. Общая характеристика динамических явлений в узлах трения.
9. Узел трения как объект моделирования в динамике машин.
10. Динамическая характеристика узлов трения.
11. Общая схема оценки величины динамического нагружения в узлах трения.
12. Строение, структура и дефекты материалов пар трения.
13. Физические свойства поверхностных слоев.
14. Влияние механической обработки на служебные свойства поверхностного слоя.
15. Характеристики шероховатости поверхностей.
16. Краткая характеристика некоторых вопросов теории строения, природы свойств и состояния материала поверхностных слоев.
17. Основные характеристики и виды изнашивания.
18. Усталостное изнашивание.
19. Абразивное изнашивание.
20. Коррозионно-механическое изнашивание.
21. Водородное изнашивание.
22. Кинетическая интерпретация изнашивания.
23. Термодинамическая интерпретация изнашивания.
24. Физические методы изучения состояния поверхностных слоев.
25. Фрактография износа.
26. Применение рентгеновских методов исследования в трибологии.
27. Общие сведения о проблеме моделирования изнашивания.
28. Металлические антифрикционные материалы.
29. Антифрикционные материалы, получаемые из порошков и пластмасс.
30. Полимерные материалы.
31. Фрикционные материалы.
32. Основные принципы конструирования подшипниковых узлов.

33. Методы обеспечения высоких эксплуатационных свойств узлов трения.
34. Назначение смазочных материалов.
35. Смазочные масла, их физико-механические свойства и методики оценки характеристик.
36. Состав масел и механизм смазочного действия.
37. Роль функциональных присадок к смазочным маслам.
38. Опыт разработки и применения ресурсо-повышающих присадок к смазочным материалам.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по дисциплине «Триботехника»
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
магистерская программа «Оборудование и технология сварочного производства»
Форма подготовки очная

Владивосток

2017

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы — ознакомление с теоретическими основами, оборудованием и приобретение практических навыков в определении параметров структуры поверхности деталей, а также в проведении анализа шероховатости поверхности стальных образцов, выполненный при двух- и трехмерных измерениях.

1. Назначение, технические характеристики и компоненты оптического профилометра Contour GT-I 3D

Назначение: оптический профилометр Contour GT-I 3D Optical Microscope фирмы Bruker (рис. 1.5) предназначен для восприятия и воспроизведения рельефа поверхности и обеспечивает быстрое, точное, высококачественное 3х-мерное компьютерное отображение тестируемых объектов. Прибор позволяет измерять топографию поверхности с высоким разрешением в диапазоне от долей нм до ≈ 10 мм. Метод вертикальной сканирующей интерферометрии используется для измерения профиля шероховатых поверхностей, в том числе тогда, когда разница высот соседних пикселей изображения превышает 135 нм. Разрешающая способность по оси Z при этом составляет несколько нанометров. В основе метода лежит вертикальное перемещение объектива встроенным приводом с одновременной периодической регистрацией изображения камерой. Когда каждая точка поверхности оказывается в фокусе, модуляция интерференции в ней достигает максимума, после чего спадает по мере ухода объектива из зоны фокуса. Высота каждой точки поверхности определяется системой по положению объектива в области максимальной модуляции. Максимальный размер скана в режиме VSI составляет 10 мм в направлении оси Z .

Технические характеристики оборудования:

1. Методы измерения: вертикальная сканирующая интерферометрия (в белом свете); фазовая интерферометрия.
2. Возможность субнанометрового вертикального разрешения от не более 0,1 нм до не менее 10 мм.
3. Возможность линеаризации перемещений во всем диапазоне измерений.
4. Установка оснащена двух-светодиодным источником света (белый и зеленый светодиоды).
5. Наличие видеокамеры с матрицей формата 640x480 и скоростью регистрации не менее 60 кадров в секунду.
6. Наличие измерительной головки с возможностью наклона.

7. Диапазон перемещений по ХУ осуществляется с помощью программного обеспечения (ПО) и с помощью джойстика и составляет не менее 150 мм.

8. Возможность разрешения по вертикали (Ra) не менее 0,8 Å (фазовая интерферометрия).

9. Возможность обеспечивать повторяемость RMS не менее 0,1 Å.

10. Возможность интерферометрии образцов высотой не более 100 мм.

11. Поле зрения установки в диапазоне от 0,05 до 8 мм, включая краевые значения.

12. Возможность расширения поля зрения за счёт склейки отдельных кадров в автоматическом режиме с помощью ПО.

13. Установка имеет диапазон измерений по вертикали не менее 10 мм.

14. Возможность интерферометрии образцов, коэффициент отражения которых составляет от не более 1 до не менее 100 %, включая краевые значения.

Система ContourGT обладает возможностью автоматического выбора оптики. Измерительные объективы имеют увеличения от 2,5х до 115х и закрепляются на турели, либо на однообъективном адаптере.

15. Наличие линз для расширения поля зрения с увеличением в диапазоне от не более 0,55X до не менее 2X, включая краевые значения.

16. Система сбора и обработки результатов измерений:



Рисунок 1.5 – Оптический профилометр Contour GT-I 3D

Компоненты системы

Профилометры ContourGT-K состоят из нескольких основных компонентов. Основная часть системы, оптический измерительный модуль (ОИМ), находится под защитным кожухом. Измеряемый образец помещается на столик. На всех профилометрах серии используется ручное управление наклоном столика по двум осям (система tip/tilt).

Рукоятка ручной фокусировки, используется для фокусировки в системе ContourGT-K0 без моторизованного столика.

Многофункциональная панель аварийного выключения (далее панель управления), входит в комплект профилометра ContourGT. На ней расположены кнопка аварийного выключения, кнопки включения и выключения, а также джойстик и ручка для управления моторизованным столиком в направлении оси Z.

Блок питания преобразует напряжение сети переменного тока в постоянное напряжение, необходимое для работы прибора. Клавиша выключателя сети на блоке питания является основным выключателем питания электронной части прибора.

2. Методика определения параметров структуры поверхности

Основные режимы работы

Оптический измерительный модуль ContourGT-K ОИМ поддерживает две методики измерений: вертикальную сканирующую интерферометрию (VSI) и интерферометрию фазового сдвига (PSI).

Метод вертикальной сканирующей интерферометрии (VSI)

В методе вертикальной сканирующей интерферометрии используется источник света с широким спектром (белый). Данный метод лучше всего подходит для измерения профиля шероховатых поверхностей, в том числе тогда, когда разница высот соседних пикселей изображения превышает 135 нм. Разрешающая способность по оси Z при этом составляет несколько нанометров. В основе метода лежит вертикальное перемещение объектива встроенным приводом с одновременной периодической регистрацией изображения камерой. Когда каждая точка поверхности оказывается в фокусе, модуляция интерференции в ней достигает максимума, после чего спадает по мере ухода объектива из зоны фокуса. Высота каждой точки поверхности определяется системой по положению объектива в области максимальной модуляции. Максимальный размер скана в режиме VSI составляет 10 мм в направлении оси Z.

Принцип измерений

Оптический измерительный модуль включает в себя камеру, светодиоды зеленого и/или белого свечения, блок сканирования и измерительный объектив. В объективе свет расщепляется на опорный и измерительный лучи: опорный луч отражается от сверхплоского зеркала, смонтированного внутри объектива, а измерительный отражается от исследуемой поверхности. В результате возникает интерференция, сигнал которой используется для вычисления высот поверхности. Опорное зеркало расположено внутри объектива в фокальной плоскости (то есть, на том же оптическом расстоянии от светоделителя, что и образец). В такой схеме комбинация двух лучей создает интерференционную картину, представляющую собой чередование темных и светлых полос. Количество таких полос и расстояние между ними зависит от формы образца и угла наклона исследуемой поверхности относительно опорного зеркала. Если образец имеет высокую плоскостность, то интерференционные полосы будут прямыми. По мере уменьшения наклона образца относительно опорного зеркала, количество полос будет уменьшаться и, в итоге, при условии параллельности поверхностей, полосы практически исчезнут.

Программное обеспечение для работы с системой ContourGT-K

ПО Vision64 является высококлассным метрологическим приложением под управлением ОС «Windows 7 64 bit». Благодаря использованию новейших разработок в вычислительных технологиях, Vision64 обладает мощнейшими возможностями и, вместе с тем, простотой использования. Эргономичный дизайн пользовательского интерфейса делает использование данного приложения интуитивно понятным и эффективным. В сочетании с высококлассным профилометрическим оборудованием фирмы Брукер, ПО Vision64 предоставляет непревзойденные возможности для измерений и характеристики топографии поверхности.

Программное обеспечение Vision64 управляет настройками оборудования, анализирует данные и обеспечивает графическое представление результатов. Оно предоставляет возможности полной настройки представления данных и позволяет сохранять результаты анализа в базу данных. Настройки измерений и анализа сохраняются в конфигурационных файлах для дальнейшего использования. Для запуска приложения используется ярлык, находящийся на панели задач, как показано на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Панель задач Windows с кнопкой «Пуск» и закрепленным ярлыком запуска ПО Vision64

Порядок выполнения измерений на приборе

1. Перед использованием оборудования ContourGT-K необходимо овладеть следующими навыками:

- а) включение и выключение системы, а также запуск и завершение приложения Vision64;
- б) позиционирование образца для измерения;
- в) выведение интересующей области поверхности в поле зрения камеры;
- г). подстройка фокуса таким образом, чтобы на поверхности образца стали видны интерференционные полосы;
- д) подстройка угла наклона между поверхностью образца и опорным зеркалом для уверенного наблюдения полос;
- е) выбор параметров измерения и проведение измерения.

2. Включение прибора и запуск приложения Vision64:

1. Включите питание прибора.
 1. Проверьте правильность подключения и отсутствие видимых повреждений всех кабелей.
 2. Убедитесь, что выключатель питания на передней панели корпуса ПК индицирует состояние «Вкл».
 3. Убедитесь, что выключатель на блоке питания находится в положении «Вкл».
 4. Убедитесь, что кнопка аварийного отключения не нажата, и зеленая кнопка «Сеть» на многофункциональной панели светится.
 5. Попробуйте еще раз полностью выключить и включить систему.

Завершение работы приложения и выключение системы

Для выключения системы:

1. Завершите работу приложения **Vision64**, выбрав пункт **Exit Vision** в меню, доступном по нажатию на кнопку меню в левом верхнем углу окна. Эта кнопка вызывает традиционное меню **File**.
2. Завершите работу системы Windows.

3. Выключите питание профилометра (выключателем на многофункциональной панели и/или на блоке питания).

Работа с вкладкой Live Video (видео в реальном времени)

Прежде чем начать измерение, необходимо правильно расположить образец и настроить систему:

1. Переместите образец, чтобы интересующий вас участок поверхности попал в поле зрения камеры.
2. Настройте уровень освещения.
3. Подстройте фокус таким образом, чтобы на поверхности образца стала видна картина интерференционных полос.
4. Подстройте наклон образца относительно опорного зеркала для того, чтобы полосы продолжали быть видимыми.

Большинство из этих действий производятся путем наблюдения видео и изменения настроек во вкладке **Live Video** (чтобы активировать ее на главной панели, надо щелкнуть вкладку **Live Video** в области **вкладок представления**). Во вкладке отображается видеоизображение области измерения, а также находятся элементы управления столиком и осветителем. На рис. 1.7 показан типичный вид этого окна.

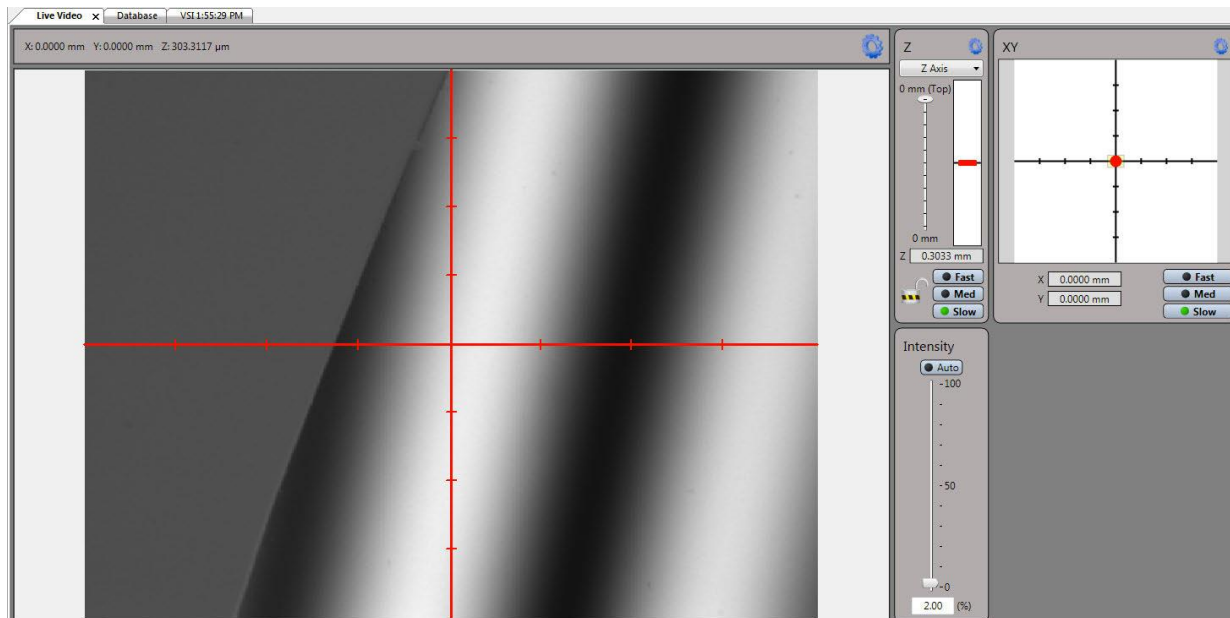


Рисунок 1.7 – Активное окно вкладки LiveVideo в Главной панели представления

Слежение за образцом

В левой части вкладки **Live Video** постоянно отображается наблюдаемый камерой участок образца. По изображению всегда можно

судить о положении образца и условиях освещения. Следует иметь в виду, что оптические профилометры серии ContourGT-K оснащены черно-белой видеокамерой, поэтому изображение всегда отображается в оттенках серого. В случае работы с моторизованным столиками текущие координаты столика показываются в левом верхнем углу изображения.

Органы управления

Элементы управления движением по оси Z , освещенностью, наклоном и перемещением X - Y столика расположены в правой части вкладки **Live Video**. Если какая-либо функция недоступна, соответствующий элемент управления не отображается. В следующих подразделах о каждом из этих элементов будет рассказано подробнее.

Управление осветителем

Интенсивность освещения в приборе ContourGT-K регулируется с помощью элемента управления (ползунок) **Intensity** (интенсивность), расположенного во вкладке **Live Video**.

Регулировать величину интенсивности можно следующим образом:

- Двигая мышкой ползунок вверх и вниз.
- Нажав кнопку **Auto** над ползунком.

Наилучший вариант настройки освещения — немного не ниже уровня насыщения. Пример оптимального освещения. При избытке интенсивности некоторые области изображения насыщаются и отображаются красным цветом. Слишком тусклое, как и слишком яркое освещение, могут привести к проблемам во время измерения.

Если нажата кнопка **Auto**, то уровень освещенности автоматически настраивается немного ниже насыщения и поддерживается на оптимальном уровне даже во время подстройки фокуса и/или движения образца. Когда авторежим активен, индикатор на кнопке **Auto** подсвечивается.

Фокусировка

Использование Z -перемещения. Можно проводить измерения на образцах разного размера путем корректировки положения по оси Z вверх и вниз. В случае ручного столика высоту можно изменять с помощью ручки фокусировки с правой стороны станины прибора; вращение ручки по часовой стрелке поднимает оптический измерительный модуль, против часовой — опускает. На моторизованном столике фокусировка по Z -оси производится либо вращением колеса на многофункциональной, либо с помощью программы Vision64. Чтобы найти на поверхности образца

интерференционные полосы, необходимо подстроить положение по оси Z так, чтобы поверхность оказалась в фокусе.

На системах с моторизованным столиком возможно задействовать режим быстрой фокусировки, когда нажата кнопка **Fast** рядом с колесом оси Z . Из программы фокусировка осуществляется перемещением красного ползунка вверх или вниз. При этом доступны три скорости фокусировки. Нажмите одну из кнопок **Fast**, **Med** или **Slow**, чтобы задать скорость движения по оси Z перед изменением фокуса.

Использование Сканера. Фокусировку также можно производить путем изменения позиции сканера. На системах с ручной Z -осью программный элемент управления осью Z по умолчанию управляет положением сканера. В таких системах контроль фокуса из программы точнее, чем с помощью ручки фокусировки. В приборах с моторизованным столиком можно переключиться на управление сканером, щелкнув мышью на стрелке правее **Z-Axis** и выбрав вариант **Scanner** в выпадающем списке.

Процедура безопасной фокусировки. При выполнении правил, описанных ниже, объектив будет перемещаться вверх, удаляясь от образца, в то время, как вы следите за интерференционными полосами на изображении. Таким образом исключается столкновение объектива с поверхностью образца. Для того, чтобы сфокусироваться на образце:

1. Выберите вкладку **Live Video** и нажмите кнопку **Auto** на панели **Intensity**.

2. Внимательно наблюдая за объективом сбоку, настраивайте фокус, опуская оптический измерительный модуль так, чтобы нижний край объектива оказался на расстоянии нескольких миллиметров от поверхности образца. Таблица 2.1 поможет вам заранее выставить это расстояние согласно рабочему расстоянию выбранного объектива.

3. Подстраивайте фокус, медленно поднимая оптический измерительный модуль. По мере его поднятия наблюдайте за изображением, чтобы поймать моменты:

- а) улучшения резкости изображения деталей поверхности.
- б) минимума величины интенсивности.

4. Когда возникает любое из условий, перечисленных выше, вы находитесь очень близко к оптимальной фокусировке. Продолжайте медленно настраивать фокус, тщательно наблюдая за появлением полос. Имейте в виду, что при сильно наклоненном образце интерференционные полосы могут быть видны в очень узкой области.

5. Продолжайте поднимать оптический измерительный модуль до тех пор, пока в поле зрения не появятся интерференционные полосы. Увеличение яркости изображения свидетельствует о том, что вы прошли область фокуса, поэтому необходимо снова опустить оптический измерительный модуль.

Перемещение образца в горизонтальной плоскости

Приборы серии оснащены столиком, диапазон перемещения которого по осям X и Y составляет величину 150 мм (6").

В случае ручного столика точное перемещение осуществляется с помощью вращения ручек микрометрической оси, грубое — соответствующими стопорными зажимами. Сжатие зажима разблокирует столик относительно микрометрической оси и позволяет быстро установить нужное положение столика.

Моторизованный столик можно двигать с помощью джойстика или программно.

Если имеется джойстик, то управлять столиком можно вне зависимости от того, запущено ли приложение Vision64 или нет. Кроме того, при нажатии кнопки FAST на джойстике включается режим быстрого движения столика

В программе Vision64 управлять столиком можно тремя способами:

1. Смещением красной точки из центра сетки в желаемую сторону движения столика. Имейте в виду, что чем дальше вы сместите точку, тем быстрее будет двигаться столик. Кроме того, можно задать номинальную скорость, нажав на кнопки Fast, Med или Slow перед началом движения.

2. При двойном щелчке мыши в любом месте XY-панели столик переместится в выбранные координаты.

3. Двойным щелчком мыши в любом месте на видеоизображении поверхности образца вы переместите этот участок в центр перекрестия.

Выравнивание образца

Профилометры серии ContourGT-K оснащены столиком, угол наклона которого вручную регулируется в пределах $\pm 6^\circ$ по двум осям. Наклон изменяется с помощью двух регулировочных ручек спереди и слева на станине. Вращением этих ручек осуществляется тонкая подстройка угла наклона столика для достижения оптимального размера и положения интерференционных полос в зависимости от характера поверхности образца и типа измерения. Часто под этим подразумевается настройка наклона таким образом, чтобы в случае VSI-измерения наблюдалось от 0 до 15 полос, а для PSI-измерения — менее 5 полос.

4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с методическими указаниями.
2. Получить образцы для определения значений параметров шероховатостей и структуры поверхности.
3. Выбрать базовую длину в зависимости от величины параметров микронеровностей, которая согласно ГОСТ 2789-73 должна примерно соответствовать рекомендациям табл. 1.1. При этом необходимо иметь в виду, что с увеличением величины базовой длины возрастает точность определения параметров шероховатости, но возрастает влияние волнистости поверхности на результаты измерений.

Таблица 1.1

Значения базовой длины в зависимости от параметров Ra

Ra , мкм	Базовая длина, мм
0,025–0,100	0,08
0,02–0,032	0,25
0,32–2,50	0,8

4. Произвести замеры и записать значения параметров шероховатости поверхности образцов в 2D формате в соответствующие ячейки таблицы 1.2.
5. Произвести замеры и записать значения параметров структуры поверхности образцов в 3D формате в таблицу 1.3.

Таблица 1.2

Параметры шероховатости образцов из стали 40X по ГОСТ Р ИСО 4287-2014

Зона измерения	Параметры шероховатости, мкм					
	Ra	Rq	Rz	Rv	Rp	Rsm
Образец №1						
Образец №2						
Образец №3						

Примечание. * – В числителе записать величины параметров перпендикулярно направлению вращения образца при механической обработке или трибоиспытаниях, в знаменателе — по направлению вращения образца.

Таблица 1.3

Параметры структуры поверхности образцов из стали 40X ГОСТ Р ИСО 25178-2-2014

Параметр	Величина параметра

ы структуры	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Sa , мкм			
Sq , мкм			
Ssk			
Sku			
Sp , мкм			
Sv , мкм			
Sz , мкм			
Sal , мкм			
Str			
Sdq , град			
Sdr , %			
$Vm, \frac{нм^3}{нм^2}$			
$Vv, \frac{нм^3}{нм^2}$			

5. Содержание отчета

1. Основные теоретические положения и определения.
2. Результаты замеров параметров шероховатости образцов из стали 40X после шлифования и триботехнических испытаний в 2D и 3D форматах.
3. Анализ высотных параметров шероховатости образцов полученных в 2D формате, полученных перпендикулярно направлению вращения образца и по направлению вращения образца.
4. Результаты замеров параметров структуры поверхности образцов из стали 40X после шлифования и триботехнических испытаний.
5. Анализ параметров структуры поверхности образцов из стали 40X после шлифования и триботехнических испытаний.
6. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Что называется шероховатостью поверхности?
2. Как определяется шероховатость поверхности?
3. Что такое профиль поверхности?
4. Дайте определение базовой длины.
5. Назовите группы параметров микрогеометрии поверхностного слоя при трехмерном профилометрировании.

6. Назовите высотные параметры микрогеометрии поверхностного слоя при трехмерном профилометрировании.

7. Назовите пространственные параметры микрогеометрии поверхностного слоя при трехмерном профилометрировании.

8. Назовите гибридные параметры микрогеометрии поверхностного слоя при трехмерном профилометрировании.

9. Назовите функциональные параметры микрогеометрии поверхностного слоя при трехмерном профилометрировании.

10. Объясните, почему параметры при трехмерном профилометрировании предпочтительны при оценке качества микрогеометрии поверхностного слоя.

11. Объясните, почему величины параметров при двух- и трехмерном профилометрировании микрогеометрии поверхностного слоя существенно отличаются.

12. Назовите основные технические характеристики оптического профилометра Contour GT-I 3D.

Работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы — ознакомление с теоретическими основами, оборудованием и приобретение практических навыков в определении механических свойств тонкопленочных покрытий деталей.

1. Назначение и технические характеристики

Ультрамикротестер DUN-211S (рис. 9) разработан компанией SHIMADZU для использования во всех отраслях промышленности и предназначен для определения твердости поверхности материалов и готовых изделий и тонких пленок (специально обработанные поверхности, например нитридный слой), позволяет производить измерения твердости при заданной глубине отпечатка, при этом нагрузка на инденторе в зависимости от твердости материала будет различная. Определение твердости и параметров материала осуществляется в соответствии с принятыми стандартами (ISO 14577-1:2015, ISO 14577-4:2016).

Принципиальная схема ультразвукового тестера для динамических испытаний твердости материалов основана на прецизионном локальном силовом воздействии на исследуемую поверхность (рис. 10).



Рисунок 2.5 – Ультрамикротестер DUN-211S

Технические характеристики

- Высокоточное определение модуля упругости.
- Контроль силы, прикладываемой в процессе испытания с разрешением 0.196 мкН.
- Широкий диапазон нагрузок от 0.1 до 1961 мН.
- Высокоточное измерение глубины следа.
- Возможность выбора инденторов (наконечников), в том числе и для проведения испытаний по Виккерсу и Кнупу (опция).

Принципиальная схема ультрамикротестера для динамических испытаний твердости материалов основана на прецизионном локальном силовом воздействии на исследуемую поверхность (рис. 2.6).

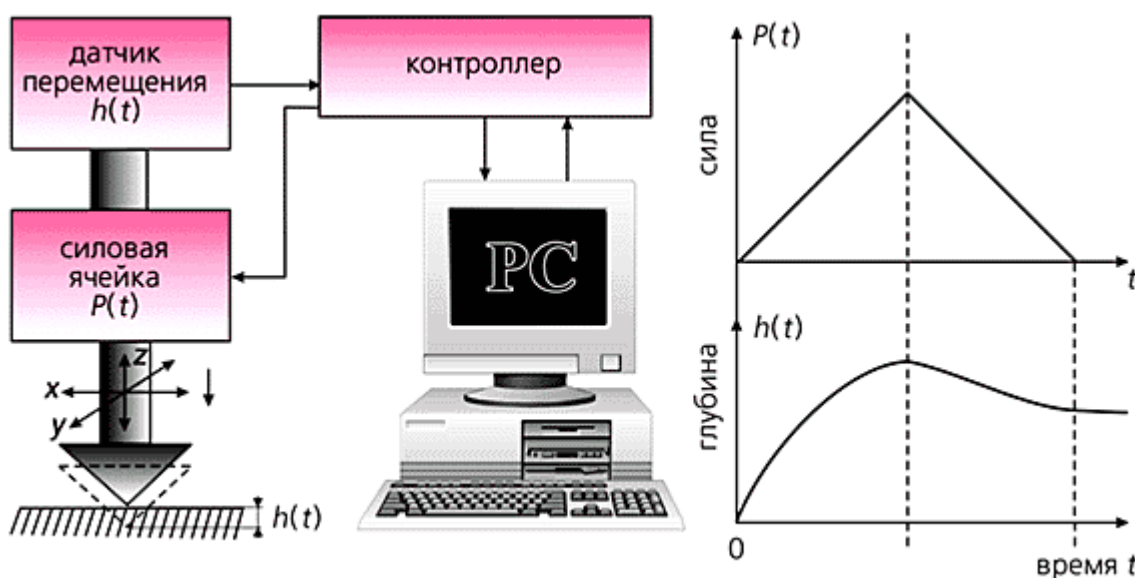


Рисунок 2.6 – Принципиальная схема нанотестирования поверхности (слева)

и временные зависимости усилия P и глубины погружения h при внедрении индентора по нормали к поверхности (справа).

3. Порядок выполнения работы

Для определения изменения механических свойств по глубине исходных образцов (после шлифования), а также после трибомодифицирования и трибоиспытаний исследования проводятся на трех уровнях нагрузки: 1 – 19,61 мН; 2 – 196,1 мН и 1961 мН. Скорость нагружения зависит от нагрузки и соответственно составляет: 1 – 1,46 мН/с; 2 – 13,3 мН/с; 3 – 70,1 мН/с. Время выдержки под нагрузкой составляет 5 с.

3.1. Включение питания.

1) Убедитесь, что X-Y-платформа установлена прямо под оптической системой (под линзами объектива).

2) Подключите силовой кабель.

3) Включите главный выключатель на панели блока управления измерителя.

4) Включается индикатор «POWER - ON» питания лампы на блоке управления.

5) Включите ПК, монитор и принтер.

6) После запуска Windows, дважды кликните на иконке [DUN]. Запустится меню программного обеспечения.

3.2. Настройка освещения.

1) Для запуска тестовой программы нажмите кнопку <TEST>.

2) Чтобы включить осветительную лампу, нажмите на корпусе осветительной головки выключатель чтения длины диагонали. Проверьте включение лампы.

3) Установите на платформу образец с чистой поверхностью. С помощью ручки «Z», смотря в окуляр, настройте фокус изображения.

4) С помощью лимба яркости, расположенного на передней панели, настройте яркость изображения до необходимого уровня.

3.3. Установка образца.

В стандартную приставку для установки закрепляется образец высотой 8 мм и шириной 30 мм.

Чтобы зафиксировать образец между базой образца и ободом супрессии и избежать снижения базы в приставке образца используется кольцо В. Для освобождения образца кольца А и В вращаются вправо и база образца опускается. Обод супрессии накладывается путем вращения ручки вправо. После установки образца между базой и ободом, образец

фиксируется (зажимается) между базой и ободом путем вращения кольца А влево. Для закрепления зажима, кольцо В поворачивается вправо. После испытания, для извлечения образца, обод супрессии ослабляется путем вращения ручки влево.

3.4. Линзы объектива.

При виде спереди, слева находится линза объектива с увеличением $\times 40$, а справа – линза $\times 100$. Переключение между линзами осуществляется с помощью револьверной рукоятки. Положение рукоятки фиксируется после щелчка. Каждая линза устанавливается с пружиной. Поэтому, если образец касается линзы, то она утапливается, но при сильном вдавливании линзу можно повредить. Поэтому при установке и снятии линз обращайтесь на этот факт особое внимание.

3.5. Оптическая головка.

Оптическая головка состоит из окуляра и ручек указателя. С помощью правой ручки устанавливается положение правого указателя в поле зрения микроскопа, а с помощью левой ручки — меняется положение обеих указателей (рис. 2.7).

- 1) Метод измерения: Прямое определение с помощью кодера.
- 2) Диапазон перемещения указателей: от 0 до 250 мкм.
- 3) Величина эффективного определения: 200 мкм.
- 4) Минимально различимое значение: 0,01 мкм.
- 5) Двусторонняя одновременная система коллимации.

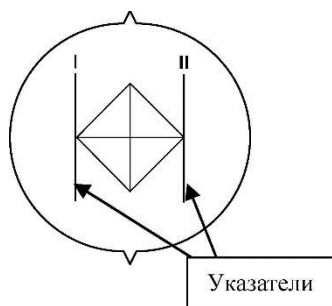


Рисунок 2.7 – Оптическая головка.

3.6. Индентор (Треугольная пирамида 115°).

В данный твердомер устанавливаются треугольные пирамидальные инденторы (с углом при вершине 115° или 100°), инденторы Виккерса и Кнупа. В стандартной конфигурации прибор имеет треугольный пирамидальный индентор (с углом при вершине 115°). Форма индентора представлена на рис. 2.8.

Все инденторы имеют практически одинаковый вес и длину и легко меняются один на другой. После смены проводится тонкая настройка детекции глубины отпечатка.

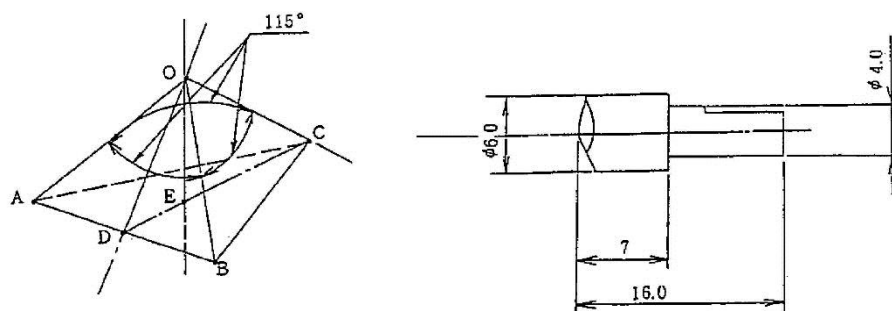


Рисунок 2.8 – Треугольный пирамидальный индентор с углом при вершине в 115° .

3.7. Метод «нагрузка–разгрузка».

В данной методике нагрузка увеличивается до ранее установленной величины и выдерживается установленное время. Затем производится разгрузка. Пример результатов испытаний приведен на рис. 2.9.

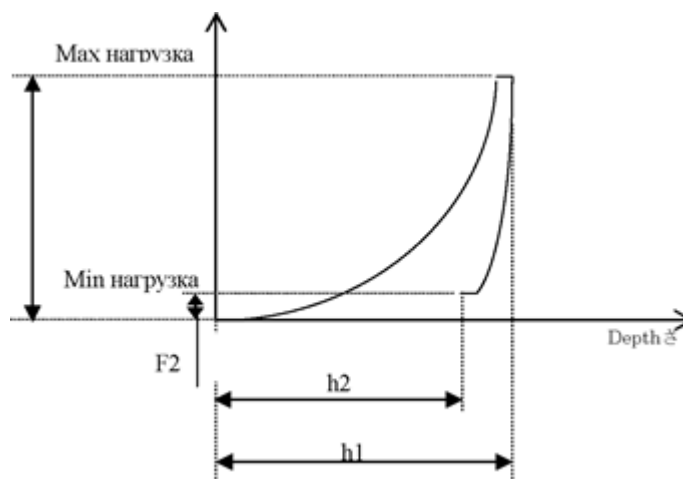


Рисунок 2.9. –Пример результатов испытаний.

3.8. Измерение размеров отпечатка.

Для определения твёрдости по треугольной пирамиде используется индентор в виде треугольной пирамиды, который оставляет на поверхности треугольный отпечаток. Твёрдость по треугольной пирамиде (115° при вершине) определяется по одной из формул 2.5, 2.6, которая учитывает силу нагрузки по образцу и площадь отпечатка, определяемую глубиной отпечатка:

$$HT115 = 160,07 \times F_N/L^2 \quad (2.5)$$

$$HT115 = 1569,7 \times F_G/L^2 \quad (2.6)$$

где,

L - Глубина отпечатка (мкм) = = 1/3 (L1+L2+L3)

F_N - Нагрузка (mN)

F_G - Нагрузка (gf)

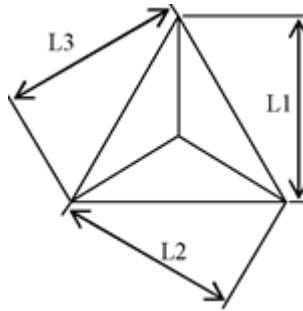


Рисунок 2.10 – Методика измерения размеров отпечатка Берковича.

3.9. Сохранение данных

Выберите функцию **[File] - [ASCII file output]**.

На рисунке 2.11 представлено окно сохранения данных в формате **ASCII**.

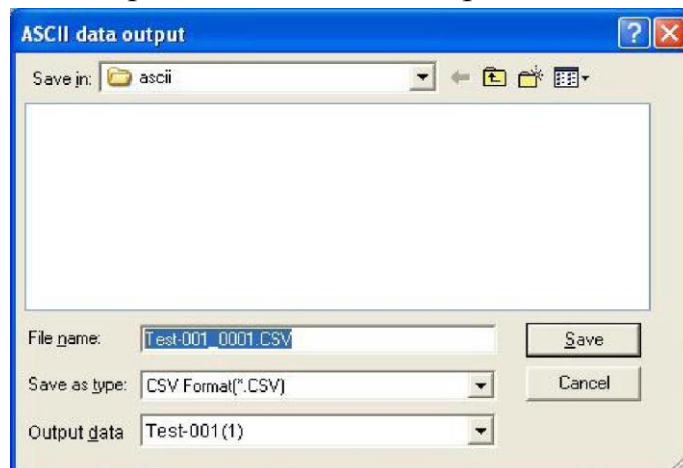


Рисунок 2.11 – Окно сохранения данных в формате ASCII

В данном окне выберите файл данных, который нужно сохранить в новом формате. Выберите папку и введите название файла, нажмите ОК. Выбранные данные будут сохранены в новом формате (**CSV format**). При выборе функции **[All files]**, будут сохранены все файлы, выбранные в строке **[Output data]**.

3.10. Полученные результаты исследования механических свойств покрытий занести в табл. 2.1

Результаты исследования механических свойств покрытий методом
наноиндентирования

Вид обработки	Наименование параметра				
	Максимальная нагрузка P_{\max} , мН	Максимальная глубина отпечатка h_{\max} , мкм	Глубина остаточного отпечатка после снятия нагрузки h_T , мкм	Модуль упругости покрытия $E \times 10^5$, Н/мм ²	Динамическая твердость, HV
Сталь 40X шлифование					
Сталь 40X трибоиспытания					
Покрытие					

4. Содержание отчета

1. Параметры режима испытания.
2. Диаграмма нагружения образца.
3. Результаты испытаний в табличной форме с указанием: нагрузки на индентор, глубин проникновения индентора, размеров отпечатка индентора, твердости, модуля упругости.
4. Анализ параметров механических свойств поверхности образцов из стали 40X после шлифования и триботехнических испытаний, а также металлокерамического покрытия.

5. Выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Назовите уровни определения твердости.
2. Назовите форму индентора пирамиды Берковича.
3. Какие механические свойства позволяет определять ультрамикротестер DUN-211S?
4. Почему максимальная глубина отпечатка при максимальной нагрузке больше глубина остаточного отпечатка после снятия нагрузки?
5. Назовите, при какой величине глубины отпечатка нанотвердость стабилизируется.

6. При наноиндентировании величина какой деформации больше?
7. Назовите от каких параметров зависит глубина отпечатка после снятия нагрузки на индентор.

Работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

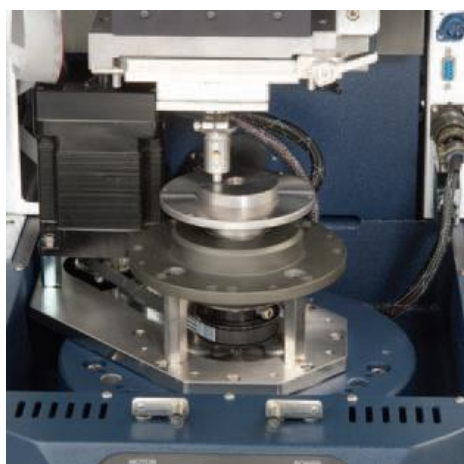
Цель работы — ознакомление с оборудованием, применяемым для исследования процессов трения и изнашивания, и приобретение практических навыков в определении коэффициента и силы трения скольжения.

1. Необходимое оборудование и технические характеристики

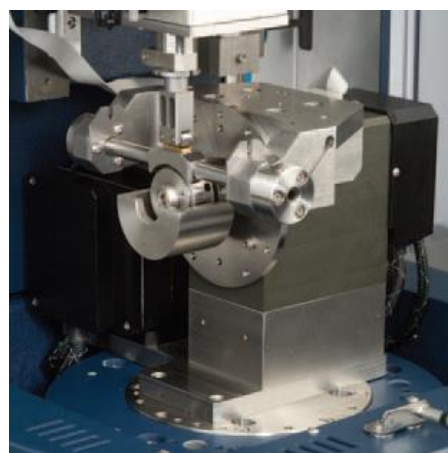
1. Трибометр модели УМТ-3.
2. Дисковые образцы: один, изготовленный из среднеуглеродистой стали, второй – из серого чугуна.
3. Колодки: одна из поршневого кольца, вторая

Технические характеристики. Машина трения модели УМТ-3 производства компании Bruker позволяет осуществлять испытания по следующим схемам:

- шарик – диск или стержень-диск (рис. 3.3, *а*);
- колодка – диск (рис. 3.3, *б*);
- втулка цилиндра – поршневое кольцо (рис. 3.4).



а



б

Рисунок 3.3 – Приводы для осуществления испытаний на износ по схеме:

а – «шарик – диск» или «стержень – диск»; *б* – «колодка – диск»

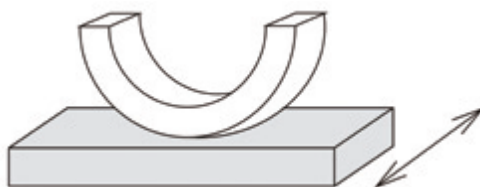


Рисунок 3.4 – Схема испытания образцов по схеме «втулка цилиндра – поршневое кольцо»

Машина трения обеспечивает:

- сервоконтроль нагрузки в диапазоне от 10 до 1000 Н при разрешении 50 мН;
- моторизацию по оси Z с диапазоном перемещения 150 мм, разрешающая способность датчика 0,5 мкм, скорость от 0,002 до 10 мм/с;
- контроль величины износа с точностью 5 мкм;
- моторизованное перемещение по оси «X» (для испытаний на износ и усталостных испытаний), диапазон перемещения: 75 мм, разрешающая способность датчика 0,25 мкм, скорость от 0,001 до 10 мм/с;
- контроль температуры до 350 °С с точностью 0,1°С, которая отображается на цифровом дисплее.

Программное обеспечение для анализа результатов позволяет отображать до 16 различных параметров во время проведения эксперимента.

Испытания образцов по схеме «шарик-диск», «стержень-диск» осуществляются в режиме вращательного движения с возможностью работать при нагреве до 350 °С. Для испытаний используются шарики диаметром 9,5 мм и стержни диаметром 6,3 мм. Стальные диски с центральным отверстием имеют диаметр 70 мм, толщину 6,3 мм.

Привод для осуществления испытаний по схеме «колодка-цилиндр» позволяет устанавливать нагрузку на образец до 740 Н при 1000 об/мин или 640 Н при 3000 об/мин. Цилиндры имеют диаметр 35 мм. Камера позволяет проводить испытания при температурах до 150 °С.

Привод для осуществления испытаний на износ в режиме возвратно-поступательного движения имеет камеру для проведения испытаний при нагреве до 350 °С.

Содержание работы. Студенты под руководством преподавателя, знакомятся с принципом действия машины трения, видом проводимых испытаний и конструкцией применяемых образцов и крепежных приспособлений к ним. Затем студенты разбиваются на группы по 5–6 человек, каждая группа получает по два дисковых образца (ролика), проводит сначала контроль машины, а затем для полученной пары образцов

определяет моменты трения в разных условиях и рассчитывает силы и коэффициенты трения.

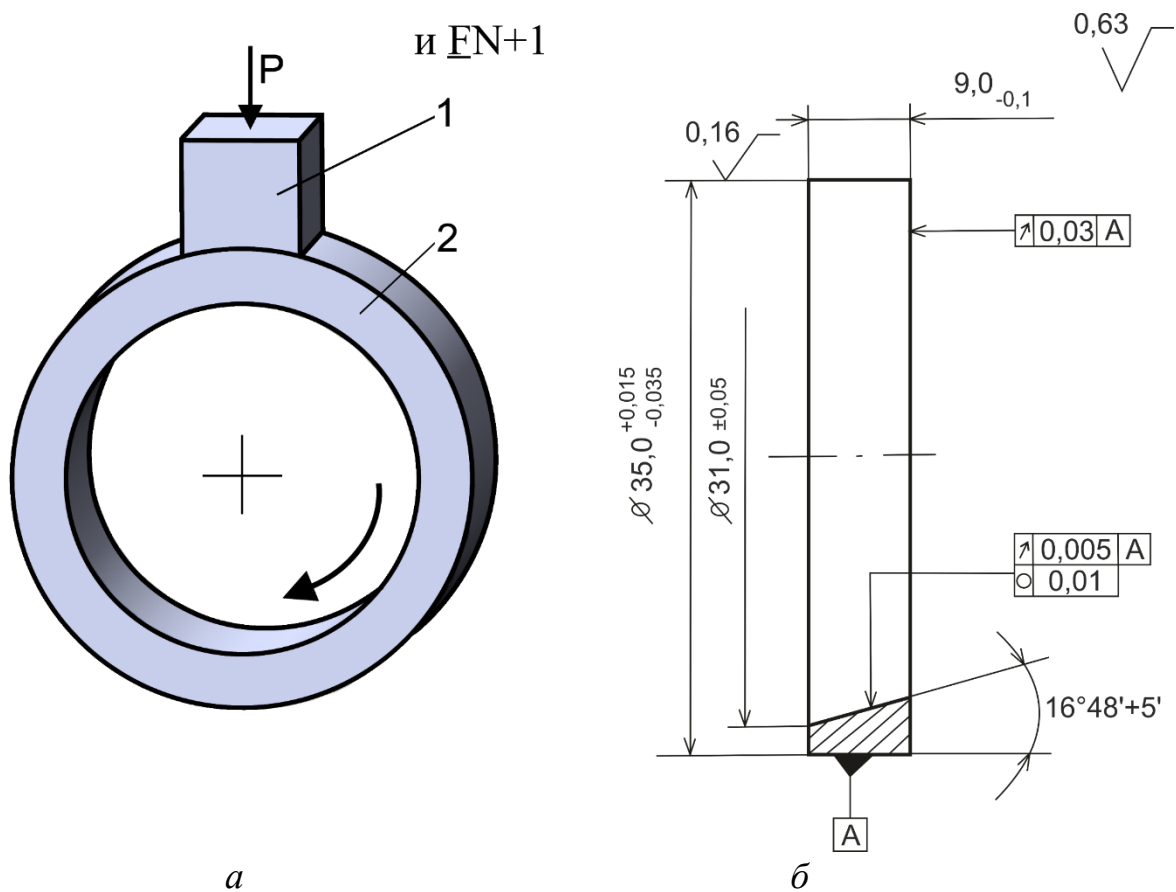


Рисунок 3.5 Схема испытываемой пары трения колодка–диск (а);
1 – колодка; 2 – диск; б – чертеж диска

Порядок выполнения работы

1. Прочитать методические указания.
2. С разрешения преподавателя подойти к машине трения и под полным его руководством изучить основные узлы трибометра и принцип её работы.
3. Получить у преподавателя комплект образцов и установить их на штатные места трибометра.
5. После проверки машины, снять рычаг, закрепить стальной образец на нижнем шпинделе (он будет вращаться при испытаниях), а образец из антифрикционного сплава закрепить на шпинделе каретки (при трении он не вращается).
6. Провести приработку образцов. Для этого, включив машину, опустить верхнюю каретку и плавно нагрузить образцы до нагрузки 650 Н (65 кг). В процессе нагружения делают периодические паузы на 10-15 с по достижению нагрузок 350, 450, 550, 650 Н. Затем образцы разгружают. После приработки на неподвижном образце образуется лунка.
7. Плавно увеличивая нагрузку на образцы, снять показания момента трения при требуемых нагрузках, указанных в таблице, приведённой ниже, и занести полученные значения момента трения в упомянутую таблицу.

Результаты испытания на трение

Условия трения: без смазки; частота вращения нижнего диска 200 об/мин; радиус вращающегося диска $R = 23$ мм.

Пара трения: диск–диск; нижний диск – среднеуглеродистая термообработанная сталь; верхний диск – (указать марку сплава).

Таблица 3.1

Результаты эксперимента

Нагрузка F_N , Н	Момент трения M_T , Н·м	Сила трения T , Н	Коэффициент трения
300			
350			
400			
450			
500			
550			
600			

8. Вычислить силу трения и коэффициент трения по формулам (7) и (6) соответственно и записать числа в таблицу.

9. По результатам расчётов построить график $f(F_N)$. По виду графика сделать вывод о том, какая составляющая трения преобладает в данных условиях.

10. Ответить на контрольные вопросы, подготовить отчёт и защитить работу.

Содержание отчёта

1. Краткое описание основных положений теории.
2. Экспериментальные данные, представленные в табличной форме.
3. График зависимости коэффициента трения от нормальной нагрузки ($f(F_N)$).
4. График изменения силы трения от нормальной нагрузки.
05. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое внешнее трение?
2. Назовите виды трения.
3. Назовите виды смазки.
4. Какая смазка называется гидродинамической?
5. Какая смазка называется граничной?
6. Какая смазка называется жидкостной?
7. Какая смазка называется полужидкостной или смешанной?
8. Какими составляющими определяется сила трения скольжения? Какова их природа?
9. Назовите основные характеристики трибометра модели UMT-3.

10. По какой схеме и на каких образцах проводили опыты в данной работе?

11. Можно ли по внешнему виду полученной зависимости $f(F_N)$ утверждать о преобладающем влиянии молекулярной (адгезионной) составляющей трения? Почему?

Работа № 4

ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ ГЕРСИ-ШТРИБЕКА

Цель работы – ознакомление с понятием вязкость и возможными режимами смазки.

Содержание работы. Студенты разбиваются на группы по 5–6 человек, каждая из которых проводит испытания пары трения диск-штулка на машине трения в условиях смазывания маслом. Студенты измеряют коэффициенты трения при разных нагрузках на пару трения, по результатам эксперимента строят диаграмму Герси-Штрибека и разбивают её на характерные участки, соответствующие разным режимам смазки.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 2 ч.

1. Прочитать методические указания.

2. Получить образцы: два дисковых, причём один стальной с полированной цилиндрической поверхностью, а второй – вспомогательный из произвольного сплава диаметром 30...50мм; третий – втулочный с внутренней поверхностью, покрытой антифрикционным слоем.

3. Закрепить дисковый образец 1 с полированной цилиндрической поверхностью на нижнем шпинделе (рис. 9), аккуратно навесить на него втулочный образец 2 и подставить под них ванночку с маслом 3 так, чтобы образцы частично были погружены в масло, как показано на рис. 9.

4. Установить на верхний шпиндель вспомогательный образец 4 и опустить каретку 5. В процессе испытаний верхний дисковый образец не вращается и служит только для фиксации втулочного образца и передачи нагрузки на пару трения.

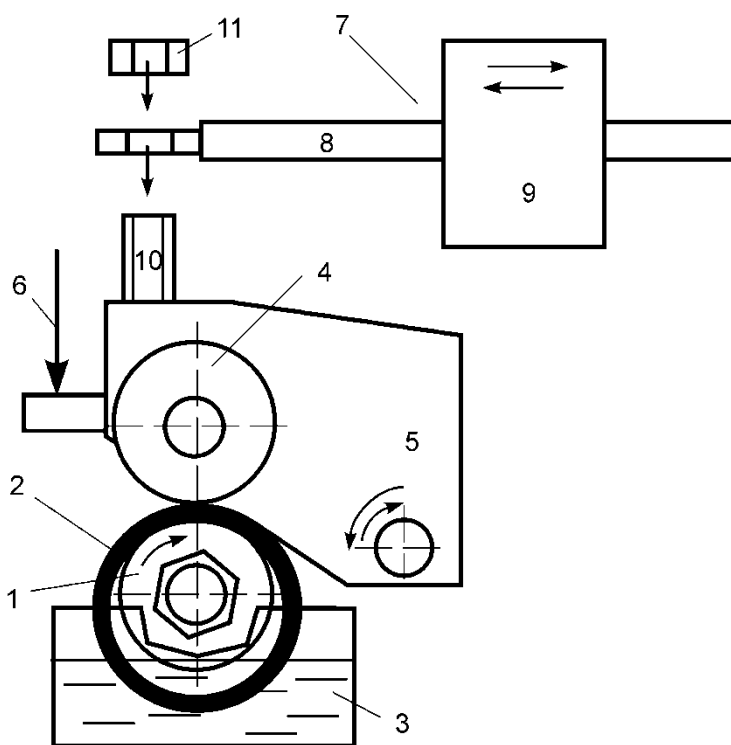


Рисунок 4.2 – Схема расположения образцов и вспомогательных приспособлений при испытаниях (описание см. в тексте)

5. Включить машину трения и, дав поработать 10–15 с, плавно увеличить нагрузку до 1100 Н, делая периодические паузы на 10–15 с через каждые 100 Н.

6. Затем плавно снизить нагрузку до 700 Н и, начиная с этого значения, периодически снимать показания момента трения, продолжая разгружать образцы. Данные заносить в таблицу. Штатные машины трения позволяют обеспечить минимальную нагрузку 6, равную 210 Н, обусловленную весом каретки. Поэтому для получения нагрузок ниже 210 Н используется устройство-противовес 7, показанное на рис. 4.3.

Устройство состоит из стержня 8, по которому может скользить цилиндрический груз 9. С помощью отверстия на одном из своих концов стержень крепится на резьбовой стойке 10 верхней каретки с помощью гайки 11 (см. рис. 4.3). Нагрузка изменяется передвижением груза 9 по стержню 8, на котором нанесены деления с соответствующими значениями нагрузок.

Таблица 4.1

Результаты эксперимента

Нагрузка F_N , Н	Момент трения M_T , Н·м, (кг·см)	Коэффициент трения, f	$\frac{\eta v}{p}$
700			
600			
500			
450			
400			

350			
300			
210			
140			
110			
90			
65			
40			

7. Рассчитать коэффициент трения по формуле

$$f = \frac{M_T}{R F_N},$$

где M_T – момент трения; R – радиус образца; F_N – нагрузка.

8. Рассчитать значение комплекса $\frac{\eta v}{p}$:

– динамическую вязкость (Па·с) определить по формуле

$$\eta = \rho \nu_m,$$

где плотность масла ρ принимается равной 800 кг/м^3 , а кинематическая вязкость ν_m масла И-20А равна $0,002 \text{ м}^2/\text{с}$;

– линейную скорость вращения дискового образца (м/с) вычислить как

$$v = \frac{2\pi n R}{60},$$

где n – частота вращения образца, мин^{-1} ;

– удельную нагрузку (Н/м) определить по соотношению

$$p = \frac{F_N}{l},$$

где l – меньшее из значений ширины дискового и втулочного образцов, м.

9. Построить кривую Герси-Штрибека и разбить её на характерные зоны. Объяснить причину изменения коэффициента трения с изменением комплекса

$$\frac{\eta v}{p}.$$

10. Ответить на контрольные вопросы, подготовить отчёт и защитить работу.

Содержание отчета

1. Краткое описание проделанной работы с эскизом крепления образцов и используемых приспособлений.

2. Экспериментальные данные в табличной форме.

3. По результатам эксперимента строят диаграмму Герси-Штрибека и разбивают её на характерные участки, соответствующие разным режимам смазки.

4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое смазка?

2. Перечислите основные виды смазки.

3. В чём, по вашему мнению, принципиальное отличие граничной смазки от гидродинамической?

4. Что представляет собой кривая Герси-Штрибека?

5. Почему при увеличении комплекса $\frac{\eta v}{p}$, если рассматривать участок кривой, соответствующий гидродинамической смазке, коэффициент трения возрастает?

6. Опишите кратко суть проведённых экспериментов.

Работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Цель и содержание работы

Цель работы. Изучить зависимость износа от времени работы трущейся детали, ознакомиться с методами измерения износа и приобрести навыки в определении износостойкости конструкционных материалов по результатам испытаний.

Содержание работы. Группа студентов из 5–6 человек получает пару дисковых образцов и испытывает её на машине трения, измеряя в процессе эксперимента после определённых отрезков времени размер очага износа на неподвижном образце. По результатам измерений рассчитывают текущую глубину очага износа и строят зависимость износа от пути трения, определяют интенсивность изнашивания и класс износостойкости неподвижных образцов.

Экспериментальное оборудование

1. Машина трения МИ-1 (схема контакта образцов: ролик–ролик; верхний ролик неподвижен).

2. Два роликовых образца одинакового диаметра (30...50 мм), один из которых из стали 45, другой – из бронзы БрА9Ж4Н4Л.

3. Штангенциркуль.

4. Секундомер.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания и выслушать объяснения преподавателя.

2. Начертить в рабочей тетради таблицу (см. ниже), в которую будут заноситься все экспериментальные и расчётные данные.

3. Получить два образца, измерить их радиусы и записать полученные значения вместе с другими исходными данными в заголовок таблицы.

Результаты экспериментов на изнашивание

Неподвижный ролик: материал БрА9Ж4Н4Л ($R_n = \dots$ мм). Вращающийся ролик: материал сталь 45 ($R_g = \dots$ мм). Условия трения: без смазки. Нагрузка \dots Н; $n = \dots$ мин⁻¹.

Таблица 5.2

Результаты замеров

t , мин	L , мм	a , мм	h_1 , мм	h , мм	I_L	Приработка		Установившееся	
						I_L	КИ	I_L	КИ
0									
0,5									
1									
2									
4									
10									

4. По найденным значениям L и h построить график $h(L)$ и «разбить» его на характерные стадии.

5. Для каждого значения наработки (L) определить мгновенные значения интенсивности изнашивания согласно поясняющему рис. 5.2.

6. Используя формулу (15) и данные в таблице определяют средние значения износостойкости I_L и класс износостойкости $КИ$ на стадии приработки и установившегося изнашивания.

7. По полученным значениям износостойкости сделать вывод, какому механизму разрушения поверхности соответствует процесс изнашивания на выделенных стадиях.

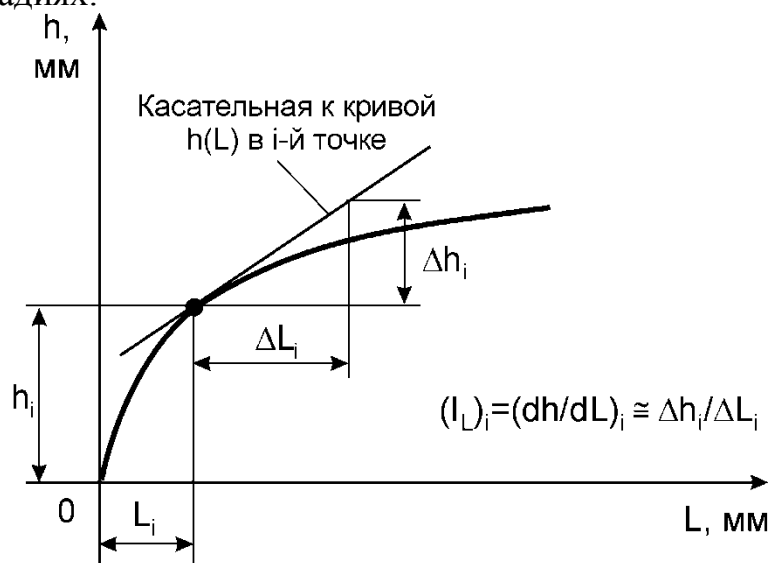


Рисунок 5.2 – Определение интенсивности изнашивания в i -й точке кинетической кривой изнашивания

Содержание отчёта

1. Краткое описание проделанной работы.

2. Экспериментальные и расчётные данные в табличной форме.
3. График $h(L)$.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое изнашивание и износ?
2. Назовите основные методы определения износа. Какой метод применялся в данной работе?
3. На какие основные стадии можно разбить кинетическую кривую изнашивания при трении скольжения?
4. Посмотрите внимательно на ваш график $h(L)$. Позволила ли длительность эксперимента в настоящей работе довести изнашивание до стадии катастрофического изнашивания?
5. Чем отличается скорость изнашивания от интенсивности изнашивания? В чём удобство использования последней характеристики?
6. Можно ли определить по классу износостойкости характер деформирования поверхности при трении?

Работа № 6

СТРУКТУРА АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВОВ

Цель работы – изучение структуры и эксплуатационных свойств наиболее распространенных антифрикционных сплавов.

Необходимые оборудование и материалы

Для выполнения работы необходимы:

- металлографический микроскоп марки ;
- микротвердомер марки

- комплект микрошлифов антифрикционных сплавов;
- реактивы для травления микрошлифов;
- полировальный станок марки .

Порядок выполнения работы

1. Прочитать методические указания.
2. Получить комплект микрошлифов с описанием. Описание представлено в табл. 6.4.
3. Отполировать микрошлифы и протравить реактивами, указанными в описании.
4. Установить на микроскопе на требуемое увеличение (x50, x100, x200) и изучить структуру шлифов под микроскопом.

5. Зарисовать структуру шлифов в отчете. Под каждым рисунком указать марку сплава и увеличение. Наименование структурных составляющих выносятся и соединяются с соответствующими частями рисунка стрелками.

6. Под руководством преподавателя выбрать нагрузку на индентор микротвердомера и провести измерения микротвёрдости основных структурных составляющих исследуемых сплавов, результаты измерений занести в таблицу.

7. Определить к какому типу относится данный антифрикционный сплав.

8. Составить отчет по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение износостойкости.
2. Дайте определение прилегаемости при трении.
3. Дайте определение прирабатываемости.
4. Дайте определение совместимости при трении.
5. Что называется способностью к поглощению твердых частиц?
6. Что называется температуростойкостью антифрикционного подшипникового материала?
7. Назовите критерии условий работы подшипника скольжения.
8. Дайте определение правила Шарпи.
9. На сколько типов делятся подшипниковые сплавы? Назовите их.
10. Преимущества и недостатки баббитов. Назовите область их применения и основные марки.
11. Преимущества и недостатки бронз. Назовите область их применения и основные марки.
12. Преимущества и недостатки антифрикционных чугунов. Назовите область их применения и основные марки.

Работа №7

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Цель работы — ознакомление с классификацией, конструкцией, отличительными признаками подшипников скольжения судовых среднеоборотных дизелей; маркировкой вкладышей подшипников; а также распределением давления в слое масла у различных типов подшипников.

1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с методическими указаниями.
2. Получить образцы вкладышей для определения его типа.
3. Произвести замеры толщин слоев вкладыша.
4. Определить несущую способность вкладыша подшипника на основании таблицы 7.2 и графиков 7.12 и 7.13. таблицы 7.2.
5. Определить минимально допустимую толщину смазочного слоя на основании рис. 7.14.

2. Содержание отчета

1. Основные определения и конструктивные особенности тонкостенных вкладышей подшипников.
2. Описать тип вкладыша и характеристику слоев.
3. Результаты замеров толщин слоев вкладыша.
4. Величина несущей способности вкладыша подшипника.
5. Оценить триботехнические свойства вкладыша.
6. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Назовите типы подшипников скольжения.
2. Назовите места установки подшипников скольжения в двигателе.
3. Назовите основные элементы подшипников скольжения.
4. Какое влияние оказывают кольцевых смазочных канавок на распределение давления в слое масла?
5. Назовите типы вкладышей подшипников.
6. Перечислите название слоев в трехслойном вкладыше.
7. Для чего необходим промежуточный слой у вкладыша?
8. Какой тип вкладышей обеспечивает максимально допустимое давление на вкладыши?
9. Какой материал антифрикционного слоя вкладыша обеспечивает максимально допустимое давление на вкладыши?
10. Дайте определение несущей способности материалов и подшипников скольжения.

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПРЯЖЕНИЯ «ШЕЙКА КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА – ВКЛАДЫШ ПОДШИПНИКА»

Цель работы — установить зависимость механических свойств на триботехнические характеристики металлокерамических покрытий и способы определения этих характеристик.

1. Основные положения теории и определения

Износостойкость трибосопряжения определяется физическими параметрами процесса и механическими свойствами материалов. Так как на физические параметры процесса изнашивания нет возможности оказывать существенное влияние, управлять этим процессом можно путем получения оптимальных параметров механических свойств композиционных покрытий. Для этого необходимо получить количественные или качественные зависимости износостойкости материалов от их механических свойств. Определение механических свойств тонкопленочных покрытий осуществляли путем наноиндентирования. Для исследования механических свойств покрытий на наноуровне использовали ультрамикротестер для динамических испытаний твердости материалов DUN-211S фирмы Shimadzu (Япония).

Основные сведения и определения

Трибосопряжение – две функционально связанные детали (коленчатый вал – вкладыш подшипника).

Триботехническая характеристика – совокупность значений интенсивности изнашивания трибосопряжения на пространстве скоростей и нагрузок.

Свойства материалов

Свойство – это количественная или качественная характеристика материала, определяющая его общность или различие с другими материалами.

Свойства материалов определяются их строением на межатомном и внутриатомном уровнях, фазовой или иной структурой.

Механические свойства – характеризуют сопротивление материала деформации, разрушению или особенность его поведения в процессе разрушения (упругость, прочность, пластичность, сопротивление усталости (выносливости), ударная вязкость и твердость).

Химические свойства – включают химическую активность металлов, способность их к химическому взаимодействию с агрессивными средами и др.

Эксплуатационные свойства – обобщенный, результирующий показатель, характеризующий надежность и долговечность конструкции или детали, изготовленной из металла или сплава. К ним относятся жаропрочность, жаростойкость, хладостойкость, коррозионная стойкость, антифрикционные свойства материала и т. д.

Все свойства имеют стандартные характеристики, которые определяют в лабораторных условиях, приближенных к естественным условиям эксплуатации материала, на образцах определенных размеров в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ). Объективная оценка механических свойств материалов возможна только с помощью машин и приборов, прошедших аттестацию, т. е. поверенных и признанных годными к испытаниям специальными органами Госстандарта.

Определение эксплуатационных свойств покрытий

Для анализа эксплуатационных свойств покрытия определяют отношение P к S^2 , которое не зависит от глубины отпечатка и контактной площади и, по мнению Ю.И. Головина, хорошо коррелирует с некоторыми трибологическими характеристиками и определяется по формуле

$$\frac{P}{S^2} = 734 \times 10^7 \frac{\pi H}{E^2},$$

где P – нагрузка на инденторе;

S – жесткость в контакте «индентор – образец»;

H – динамическая твердость, HV;

E – модуль упругости, Н/мм².

Исследования механических свойств

Исследования механических свойств стали после шлифования и триботехнических испытаний методом наноиндентирования (табл. 1) позволили установить следующее:

Механические свойства стали в поверхностном слое на глубине до 0,15 мкм имеют очень большой разброс значений, особенно после механической обработки (например, модуль упругости изменяется от $4,72 \times 10^5$ до $21,96 \times 10^5$ Н/мм² при средней величине $12,61 \times 10^5$ Н/мм², а динамическая нанотвердость от 406 до 687 HV при средней величине 582 HV). Начиная с глубины отпечатка 0,4 мкм величины динамической

микротвердости снижаются и стабилизируется в узких пределах. Уменьшение и стабилизация величины модуля упругости после механической обработки происходит при глубине отпечатка свыше 1 мкм, а после трибоиспытаний — при глубине отпечатка свыше 0,5 мкм. Следует отметить, что после трибоиспытаний величины максимальной глубины отпечатка и остаточного отпечатка существенно снижаются при нагрузке на индентор 19,7 мН.

Исследования механических свойств различных покрытий методом наноиндентирования (табл. П2) позволили установить следующее.

Модифицирование поверхности стали 45 позволяет управлять механическими свойствами и стабилизировать их величины. Образующие тонкопленочные покрытия имеют более высокие величины упругого восстановления. Причем при значениях выше единицы наблюдается возрастание толщины слоя в месте приложения нагрузки после ее снятия. Площадь упругого поднятия участка превышает площадь отпечатка от индентора в 6–8 раз. Величины упругого восстановления свыше единицы имеют покрытия, полученные с применением природных и искусственных полимеров, однако величина параметра зависит от режима упрочнения.

Глубина остаточного отпечатка всех типов покрытий после снятия нагрузки меньше чем у стали.

Твердость поверхностного слоя стали после трибоиспытаний уменьшается на (4–7)%, в среднем 5,5%.

Наиболее перспективные покрытия имеют твердость в 1,1–1,3 раза больше твердости поверхностного слоя стали. Твердость покрытия зависит от химического состава исходного материала и режима упрочнения. Наиболее высокую твердость имеют покрытия, полученные при использовании металлосилоксана, наименьшую – при применении серпентинита.

Модифицирование поверхности стали металлосилоксаном приводит к существенному повышению модуля упругости покрытия. Минимальный модуль упругости получается при применении вермикулита и композиций на базе алюмосиликата.

Анализ механических свойств износостойких покрытий и результатов триботехнических испытаний (табл. 8.1, рис. 8.1 – 8.3) позволил установить, что характеристика P/S^2 зависит от состава покрытия и оказывает существенное влияние на скорость изнашивания трибосопряжения «вал – вкладыш».

Таблица 8.1

Механические свойства стали 45 (твёрдость 212 НВ) с различными износостойкими покрытиями и триботехнические свойства пары трения «вал – вкладыш подшипника»

Материал поверхностного слоя вала	Модуль упругости покрытия $E \times 10^5$, Па	Динамическая нанотвёрдость H , НВ	Характеристика покрытия P/S^2	Величина упругого восстановления	Коэффициент трения	Скорость изнашивания вала /
1	2	3	4	5	6	7
Сталь после шлифования	12,61	582	2,7	0,439	–	–
Сталь без покрытия после трибоиспытаний	11,45	559	3,1	0,677	<u>0,015</u> 0,008	<u>6,3 /</u> <u>3,1</u> 4,5 / 8,0
	12,05	542	2,7	0,427	<u>0,007</u> 0,020	<u>5,0 /</u> <u>1,6</u> 6,7 / 6,2
Сталь, упрочненная металлосилоксаном (опыт №1**)	20,11	673	1,1	1,130	<u>0,012</u> 0,017	<u>8,5 /</u> <u>6,4</u> 13,7 / 4,9
Сталь, упрочненная металлосилоксаном (опыт №2)	11,87	587	3,1	0,732	<u>0,008</u> 0,010	<u>1,7 /</u> <u>4,8</u> 3,5 / 50,4*
Сталь, упрочненная металлосилоксаном (опыт №3)	16,81	822	2,1	0,561	<u>0,003</u> 0,009	<u>1,0 /</u> <u>3,0</u> 7,5 / 7,2
Сталь, упрочненная металлосилоксаном (опыт №4)	16,09	506	1,4	0,577	<u>0,006</u> 0,006	<u>2,6 /</u> <u>5,6</u> 4,3/ 30,3*
Сталь, упрочненная металлосилоксаном ***	18,10	739	1,7	1,051	<u>0,008</u> 0,007	<u>1,3 / 3,6</u> 1,5 / 1,8

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5	6	7
Сталь, упрочненная композицией металлосилоксан + Ресурс	10,92	688	4,2	1,837	<u>0,006</u> 0,008	<u>2,7 /</u> <u>1,9</u> 0,1 / 0,9
Сталь, упрочненная алюмосиликатом	1,78	694	160,8	0,858	<u>0,007</u> 0,007	<u>2,5 /</u> <u>12,0</u> 1,8 / 3,4
Сталь, упрочненная алюмосиликатом, модифицированны м металлосилоксано м	1,75	587	140,7	0,847	<u>0,008</u> 0,005	<u>0,5 /</u> <u>1,7</u> 2,8 / 2,5
Сталь, упрочненная композицией: алюмосиликат, модифицированны й природным полисахаридом, + MgCO ₃	2,30	604	83,8	2,621	<u>0,008</u> 0,008	<u>0 / 3,2</u> <u>0,4 /</u> <u>0,7</u>
Сталь, упрочненная серпентинитом	6,22	489	9,3	0,854	<u>0,005</u> 0,004	<u>2,4 /</u> <u>2,3</u> 1,4 / 5,0

Примечания. 1. В числителе приведены величины коэффициента трения и скорости изнашивания при нагрузке 200 Н, в знаменателе – при 400 Н.

2. * – износ несущего слоя вкладыша и выход на подслой, имеющий низкую износостойкость.

3. ** – номер опыта согласно матрице планирования эксперимента (табл. 8.2).

4. *** – образец упрочнен на режиме ступенчатого увеличения усилия прижатия индентора к упрочняемой поверхности с интервалом 100 Н,

минимальная величина усилия 100 Н, максимальная – 400 Н, время воздействия при каждой нагрузке составляло 1 минуту.

Вследствие того, что металлосилоксаны имеют существенно больший модуль упругости и, соответственно, меньшую величину характеристики P/S^2 , они были выделены в отдельную группу для анализа ее влияния на износостойкость.

В связи со значительным влиянием нагрузки испытаний на износостойкость поверхностей трения трибосопряжения зависимости были определены для нагрузки 200 Н (удельное давление 10–12 Н/мм²) и для 400 Н (удельное давление 18–20 Н/мм²).

Зависимости скоростей изнашивания покрытия вала (V_B) и вкладыша подшипника ($V_{вкл}$) от характеристики P/S^2 для металлокерамических, органометаллокерамических и полимерметаллокерамических покрытий для нагрузки 200 Н представлены на рис. 1. Математическая зависимость скорости изнашивания покрытия вала описывается выражением ($R^2=0,77$):

$$V_B = 0,000643(P/S^2)^2 - 0,122P/S^2 + 5,74, \text{ мг/ч.} \quad (1)$$

Увеличение характеристики P/S^2 с 2,7–3,1 до 75–85 приводит к уменьшению скорости изнашивания покрытия вала в 7 раз, а трибосопряжения примерно в 8 раз. Увеличение характеристики P/S^2 более 85 приводит к росту скорости изнашивания как вала, так и трибосопряжения в целом.

Аналогичные зависимости для нагрузки 400 Н приведены на рис. 2. Математическая зависимость скорости изнашивания покрытия вала описывается выражением ($R^2=0,91187$):

$$V_B = 0,000707(P/S^2)^2 - 0,135P/S^2 + 7,07, \text{ мг/ч.} \quad (2)$$

Математическая зависимость скорости изнашивания трибосопряжения «вал – вкладыш» (V_C) описывается выражением ($R^2=0,81$):

$$V_C = 0,00119(P/S^2)^2 - 0,225P/S^2 + 11,8, \text{ мг/ч.} \quad (3)$$

Увеличение характеристики P/S^2 с 2,7–3,1 до 75–85 приводит к уменьшению скорости изнашивания покрытия вала в более, чем 10 раз, а трибосопряжения примерно в 11 раз. Увеличение характеристики P/S^2

более 85 приводит к росту скорости изнашивания как вала, так и трибосопряжения в целом.

Оптимальный диапазон характеристики P/S^2 для металлокерамических, органометаллокерамических и полимерметаллокерамических покрытий составляет 70–120, который обеспечивается при модуле упругости покрытия $(1,7–2,5) \times 10^5$ Н/мм² и динамической микротвердости 570–610 НВ. При создании композиций для данного диапазона характеристики P/S^2 и обеспечения требуемой износостойкости необходимо управлять как твердостью покрытия, так и модулем его упругости путем легирования минералами или металлами.

Высокой износостойкостью обладают покрытия, полученные при модифицировании поверхности стали металлосилоксаном (рис. 3). Математические зависимости скоростей изнашивания для нагрузки 200 Н описываются следующими выражениями:

– покрытия вала ($R^2 = 0,82$):

$$V_v = -1,76(P/S^2)^3 + 16,5(P/S^2)^2 - 47,7P/S^2 + 43,9, \text{ мг/ч}; \quad (4)$$

– вкладыша ($R^2 = 0,98$):

$$V_{вкл} = -1,31(P/S^2)^3 + 11,3(P/S^2)^2 - 30,3P/S^2 + 29, \text{ мг/ч}; \quad (5)$$

– трибосопряжения ($R^2 = 0,944$):

$$V_c = -3,07(P/S^2)^3 + 27,8(P/S^2)^2 - 78P/S^2 + 72,7, \text{ мг/ч}. \quad (6)$$

Математическая зависимость скорости изнашивания трибосопряжения «вал – вкладыш» для нагрузки 400 Н описывается выражением ($R^2 = 0,77$):

$$V_c = -17,6(P/S^2)^3 + 141(P/S^2)^2 - 337P/S^2 + 260, \text{ мг/ч}. \quad (7)$$

Оптимальной характеристикой P/S^2 для металлосилоксана для различных диапазонов нагрузки на трибоузел является величина 1,7, для нагрузок до 200 Н — 2,1–3,1.

Следует отметить, что введение в композицию на основе металлосилоксана материалов, имеющих низкий модуль упругости (например, оловянистую бронзу (препарат «Ресурс») или алюмосиликат),

позволяет существенно повысить износостойкость покрытия и снизить коэффициент трения.

Таким образом, модифицирование поверхности трения для формирования тонкопленочных металлокерамических покрытий позволяет повысить износостойкость трибосопряжения «шейка коленчатого вала - вкладыш подшипника». Необходимо, чтобы состав покрытия обеспечивал создание покрытия, обладающего максимальной твердостью при минимальных модуле упругости и коэффициенте трения. Наиболее оптимальные характеристики при модифицировании стали 45 обеспечивают композиции:

- алюмосиликат, модифицированный металлосилоксаном;
- алюмосиликат, модифицированный природным полисахаридом, + карбонат магния;
- металлосилоксан + препарат «Ресурс».

Лабораторная работа № 9

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ КАВИТАЦИОННОГО ИЗНАШИВАНИЯ ЛОПАСТЕЙ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ

Цель работы — ознакомление с кинетикой кавитационного изнашивания (на примере гребных винтов) и приобретение практических навыков по применению методики прогнозирования кавитационного износа.

1. Порядок выполнения работы и содержание отчета

Каждый студент после ознакомления с методическими указаниями производит расчет характеристик кавитационного изнашивания конкретного гребного винта в соответствии с собственным вариантом исходных данных, полученных от преподавателя (представлены в табл. 9.1). По результатам расчета строится кинетическая кривая изнашивания и производятся необходимые уточнения.

1. Сначала определяется линейная скорость вращения v лопастных сечений, на которых расположен очаг эрозии, по формуле (2).

2. По графику рис. 9.4 *a* находится величина $\tau_{\text{инк}}$, соответствующая вычисленному значению v и заданному материалу движителя.

3. По найденной в предыдущем пункте величине $\tau_{\text{инк}}$ на графике (рис. 9.4б) находится соответствующее значение $(dh/d\tau)_{\text{max}}$.

4. С помощью рис. 9.4 *в* определяют значение износа h_{max} после срока эксплуатации $\tau \rightarrow \infty$. Для облегчения построения кинетической кривой изнашивания дополнительно определяют еще одно значение износа для произвольно выбранной продолжительности τ .

5. Если частота вращения винта отличается от 120 мин^{-1} , то значение $\tau_{инк}$, $(dh/d\tau)_{max}$ и времени τ пересчитывают на действительные значения $\tau_{инк}$, $(dh/d\tau)_{max}$ и t по формулам (5), (6) и (7).

6. По найденным значениям $\tau_{инк}$, $(dh/d\tau)_{max}$ и h_{max} строят кривую $h_{max}(t)$.

На рис. 9.5 схематично показан процесс построения кинетической кривой изнашивания $h_{инк}(t)$. При этом для удобства построения приняли не существенные для практической точности допущение, что в 3-м периоде скорость изнашивания снижается до нуля, т. е. максимальная глубина эрозии при $\tau \rightarrow \infty$ обозначили как $h_{max}^{стаб}$.

Точность прогнозирования глубины эрозии по предлагаемой методике составляет $\pm 50\%$ при доверительной вероятности 80% , т. е. в 4-х случаях из пяти отклонений максимальной глубины возникшего очага износа от прогнозируемой кривой не превысит половины соответствующего значения ординаты на этой кривой.

Достоинства методики, разработанной Л.И. Погодаевым, в простоте и минимальном количестве необходимой для осуществления прогноза исходной информации. В то же время данной методикой можно пользоваться лишь при условии знания вероятного месторасположения очагов эрозии на лопастях (эту информацию можно получить, к примеру, при осмотре винта во время очередного докования судна). Методика не позволяет определить протяженность очага эрозии по ширине и длине.

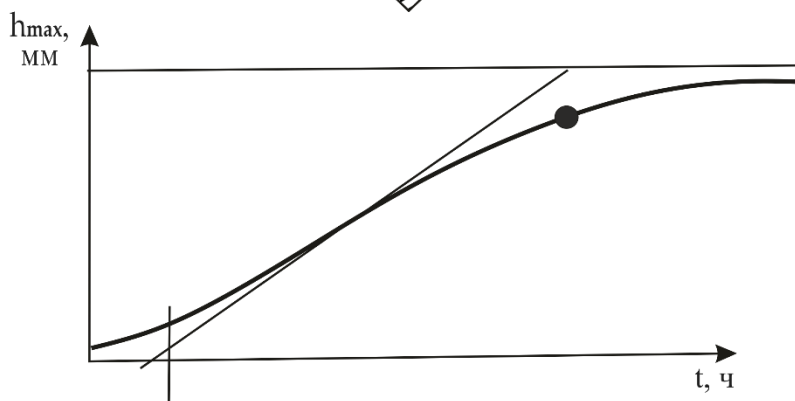
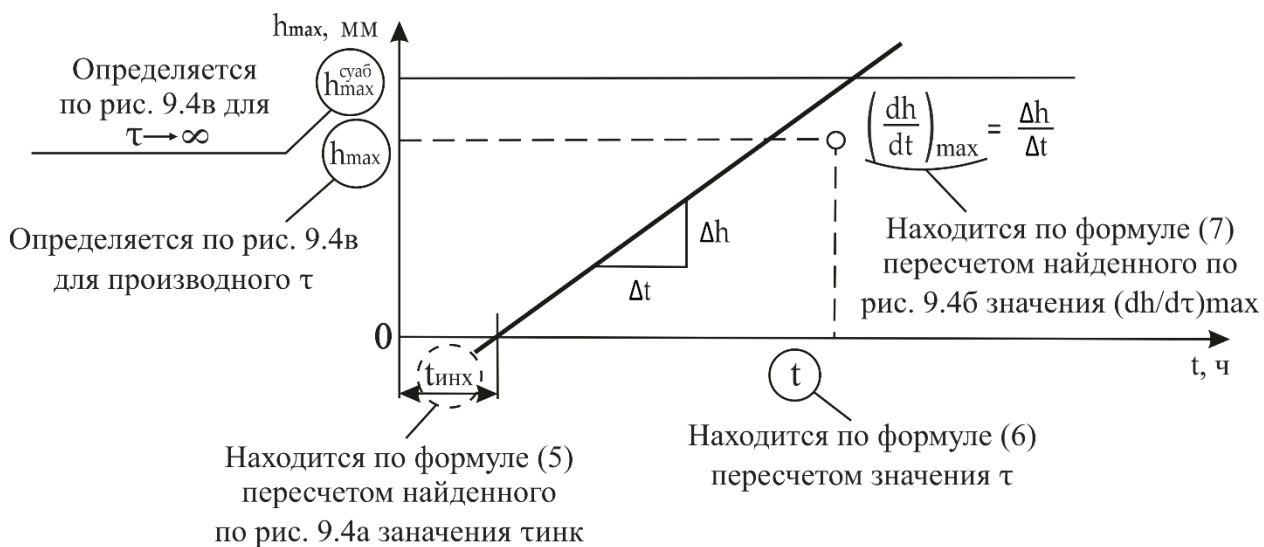


Рисунок 9.5 – Схема построения кинетической кривой изнашивания лопастей винта

3. Контрольные вопросы

1. В чем суть кавитационного изнашивания?
2. Какова причина кавитационного изнашивания гребных винтов транспортных судов?
3. На какие три периода делится процесс кавитационного изнашивания?
4. Почему прогнозированию продолжительности инкубационного периода уделяют особое внимание?
5. Какие районы лопастей гребных винтов транспортных судов обычно подвергаются кавитационной эрозии?
6. Назовите основные этапы построения кинетической кривой изнашивания по изложенной методике.
7. В чем достоинства и недостатки предложенной методики?

Таблица 9.1

Варианты заданий

№ вариант а	Материал гребного винта	Диаметр гребного винта D , м	Частота вращения винта, мин^{-1}	Относительный радиус, на котором возникают очаги износа
1	Бронза	5,45	119	0,80
2	Бронза	6,0	122	0,85
3	Бронза	4,2	170	0,75
4	Бронза	5,1	140	0,85
5	Бронза	4,6	125	0,70
6	Бронза	2,1	333	0,80
7	Латунь	3,8	167	0,80
8	Латунь	3,1	222	0,75
9	Латунь	2,7	250	0,90
10	Бронза	5,9	115	0,95
11	Бронза	3,15	220	0,85
12	Бронза	3,9	180	0,90
13	Латунь	6,1	119	0,90
14	Бронза	4,5	140	0,95
15	Бронза	3,7	202	0,95

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов Б.И., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений – М., Машиностроение, 1986. – 384 с.
2. Воскресенский В.А., Дьяков В.И. Расчёт и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка) – М.: Машиностроение, 1980. – 24 с.
6. Кудрявцев В.Н. Детали машин – Л.: Машиностроение, 1980, 434 с.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Л., Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
8. Мур Д. Основы и применения трибоники – М.: Мир, 1978, 487 с.
9. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. В 3 т. Т.1. Теоретические основы – М.: Машиностроение, 1989. – 400с
10. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М., Машиностроение, 1990. – 416 с.
11. Рубин М.Г., Бахарева В.Е. Подшипники в судовой технике: Справочник – Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун Э.Д. Современная трибология: Итоги и перспективы. – СПб.: ЛКИ, 2008.
2. Авдучевский В.С., Броневец М.А., Буше Н.А. Трибология и триботехника // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1996. – № 4. – С. 3–13.
3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
4. Методы испытания на трение и износ: Справ. Изд. / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. – М.: Инстертмет-Инжиниринг, 2001. – 152 с.
5. Леонтьев Л.Б., Надежкин А.В., Макаров В.Н., Токликишвили А.Г. Анализ функционирования трибосистемы «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника – смазка» судовых среднеоборотных дизелей // Двигателестроение, 2013, № 2 (252). – С. 41–47.
6. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. – М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
7. Головин Ю.И., Тюрин А.И., Иволгин В.И., Коренков В.В. Новые принципы, техника и результаты исследования динамических характеристик

твердых тел в микрообъемах // Журнал технической физики. – 2000. – т. 70, вып. 5. – С. 82–91.

8. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. 1992. V. 7 № 6. P. 1564–1583.

9. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // J. Mater. Res. 2004. V. 19 № 1. P. 3–20.

10. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.

11. Тушинский Л.И., Потеряев Ю.П. Проблемы материаловедения в трибологии. – Новосибирск: НЭТИ, 1991. – 64 с.

12. Андреев Ю.С., Медунецкий В. В. Исследования изменения микрорельефа поверхностей в процессе их трения скольжения // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 9. С. 30—34.

13. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. – 344 с.

14. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: Физматлиш, 2007. – 368 с.

15. Леонтьев Л.Б., Шапкин Н.П., Леонтьев А.Л. Изменения эксплуатационных свойств стали 40Х в процессе модифицирования поверхностного слоя органосиликатными антифрикционными композитами и триботехнических испытаний // The Development of Science in the 21st Century: Natural and Technical Sciences The Collection of Scientific Papers Ron. – Bee & Associates New York. 2015. p. 87–94.

16. Порошин В.В. Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей: Монография. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 196 с.

17. Филимонова Е.А., Юльметова О.С., Третьяков С.Д. Оценка шероховатости поверхности с использованием трехмерных топографий // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 8. – С. 56–60.

18. Давыдов В.М., Заев В. В., Паночевный П. Н., Козаченко Ю. А., Прохорец О.В. Анализ международной практики профильной и трехмерной оценки шероховатости поверхности // Электронное науч. издание «Ученые заметки ТОГУ». 2013. Т. 4, № 4. С. 1061—1074 [Электронный ресурс]: <[http://pnu.edu.ru / media/ejournal/articles-2013/TGU_4_199.pdf](http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2013/TGU_4_199.pdf)>, 14.12.2015.

19. Медунецкий В.М., Васильков С.Д. Методы оценивания микрогеометрии поверхностей деталей изделий // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 3. – С. 231–236.

20. Золотаревский С.Ю. Обеспечение единства измерений геометрических параметров шероховатости поверхностей в нанометровом диапазоне методами интерферометрии высокого разрешения: дис. ... докт. техн. наук: 05.11.15. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы. 2015. – 354 с.

21. Franco L.A., Sinatora A. 3D surface parameters (ISO 25178-2): Actual meaning of Spk and its relationship to Vmp // Precision Engineering. 2015, N 40. P. 106–111.

22. Sabeur M., Ibrahim D., Mohame E.M., Hassan Z. Energy efficiency optimization of engine by frictional reduction of functional surfaces of cylinder ring-pack system // Tribology International. 2013. N 59. P. 240–247. DOI: 10.1016/j.triboint.2012.01.015.

23. Bergman M., Rosen B.G., Eriksson L., Anderberg C. Surface design methodology — challenge the steel // Proc. of the 14th Intern. Conf. on Metrology and Properties of Engineering Surfaces: Journal of Physics: Conf. Ser. 2014. N 483. DOI: 10.1088/1742-6596/483/1/012013.

24. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: Мир, 2004. – 267 с.

25. Бокий Г.Б. Кристаллохимия // М.: Наука. – 1971. – 400 с.

26. Chang S., Doong R. Chemical-composition-dependent metastability of tetragonal ZrO₂ in sol-gel-derived films under different calcination conditions // Chem. Mater. – 2005. – V. 17. – P. 4837–4844.

27. Некрасов Б.В. Основы общей химии // М.: Химия. – 1965. – Т. 1. – 518 с.

28. Графутин В.И., Илюхина О.В., Мясищева Г.Г., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Фунтиков Ю.В., Чаплыгин Ю.А. Применение и развитие методов позитронной аннигиляционной спектроскопии для определения размеров нанообъектов в пористых системах, дефектных материалах и наноматериалах // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование, 2010, Т. 2, № 2. – С. 15–42.

29. Графутин В.И., Прокопьев Е.П. Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 72, № 1. – С. 67–83.

30.Brandt W. Positron dynamics solids // Appl. Phys. – 1977. – V. 5. – P. 1–23.

Погодаев Л.И., Шевченко П.А. Гидроабразивный и кавитационный износ судового оборудования. – Л.: Судостроение, 1984. – 254 с.

Погодаев Л.И., Цветков Ю.Н. Некоторые закономерности кавитационного изнашивания гребных винтов // Судостроение. 1989. №4. – С. 50–52.