

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Костромской государственной университет»

(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ

Направление подготовки 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация выпускника: Бакалавр

**Кострома
2021**

Рабочая программа дисциплины «Основы трибологии» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработала: Мухачёва Татьяна Леонидовна, доцент кафедры общей и общей и теоретической физики

Рецензент: Дьяков Илья Геннадьевич, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики
Шадрин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой и педагогической деятельности в научно-исследовательских институтах, высших и средних учебных заведениях, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях.

В результате изучения учебной дисциплины «Основы трибологии» обучаемые должны приобрести профессиональную компетенцию:

– способен выполнять эксперименты и оформлять результаты исследований и разработок (ПК-2)

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

1. Сформировать представление о явлениях, протекающих в зоне фрикционного контакта, их механизмах и условиях проявления;
2. Изучить закономерности трения и изнашивания при различных условиях и режимах нагружения твердых тел;
3. Дать сведения о методах проведения триботехнических испытаний и способах управления параметрами контактного взаимодействия твердых тел;
4. Привить навыки использования теоретических знаний при решении практических вопросов по выбору комплекса мероприятий, направленных на повышение износостойкости деталей машин;
5. Способствовать формированию у студентов инженерного мышления, развивать подход к решению технических проблем.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Основы трибологии» обучаемые должны

Освоить компетенции:

ПК-2: способен выполнять эксперименты и оформлять результаты исследований и разработок.

Код и содержание индикаторов компетенции

ПК-2.1. Проводит эксперименты в соответствии с установленными полномочиями.

ПК-2.2. Проводит наблюдения и измерения, составляет их описание и формулирует выводы.

ПК-2.3. Составляет отчеты (разделы отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов.

знать

- основные законы внутреннего и внешнего трения, трения скольжения и качения;
- методы повышения износостойкости деталей узлов трения;
- основные термины и понятия трибологии, триботехники и смазочных материалов;
- основные механо-физико-химические свойства, определяющие износостойкость конструкционных материалов;
- комплекс современных методов повышения износостойкости конструкционных материалов;
- методику и принцип работы оборудования для нанесения противоизносных, противозадирных покрытий;
- приемы расчетов параметров, оценивающих износостойкость (интенсивность изнашивания, скорость изнашивания и др.);
- необходимые стандарты оформления научных статей и отчетов;
- особенности оформления графической информации и формул;

уметь

- уметь выбрать модельный узел для проведения испытания и определения численных характеристик процесса изнашивания, таких как скорость и интенсивность изнашивания;
- уметь провести критический анализ правильности выбора конструкционного материала и (или) покрытий;
- грамотно оформить полученные экспериментальные данные, включая их статистическую обработку, в соответствии с имеющимися требованиями стандарта;

владеть

- навыками оценки основных физико-механических свойств материалов пар трения;

3. Место дисциплины в структуре ОП ВПО

Данная дисциплина изучается в седьмом семестре образовательной программы подготовки бакалавров физики и является дисциплиной по выбору.

Содержание курса охватывает физико-химические свойства поверхностей, виды трения в узлах машин и механизм износа деталей. Подробно проанализированы виды изнашивания и различные повреждения поверхностей. В зависимости от вида изнашивания или повреждения поверхностей трения указаны методы повышения долговечности деталей. Рассмотрены новые ресурсосберегающие триботехнологии, обеспечивающие высокий уровень надежности. Уделено внимание оценке триботехнических показателей, рациональному подбору и использованию конструкционных материалов, эффективности современных триботехнологий (выбор покрытий и упрочняющих технологий). Рассмотрены неметаллические конструкционные материалы и покрытия из них.

Перед изучением дисциплины «Основы трибологии» обучающийся должен иметь представления о фазовых превращениях вещества в рамках курса общей физики, уметь использовать соответствующие уравнения математической физики в различных физических моделях. Студенты-бакалавры должны иметь представления об электрохимии, освоить применение уравнений реакций для оценки получаемых продуктов. Кроме того, обучающиеся должны владеть основами материаловедения, уметь находить взаимосвязи фазового состава и структуры вещества со свойствами материала. Студенты должны уметь: описывать напряженное состояние в твердом теле, использовать тензоры напряжений и деформаций; упругие и пластические свойства тел, их связь с кристаллическим строением тел; механизмы вязкого и твердого разрушения; виды нагружения и пути повышения прочности конструкционных материалов. Требуемые знания и умения формируются в рамках базовой части профессионального цикла основной образовательной программы бакалавриата. Таким образом, освоение дисциплины «Основы трибологии» базируется на знании ранее изучаемых дисциплин: «Молекулярная физика», «Химия», «Численные методы и математическое моделирование», «Уравнения математической физики», «Физическое материаловедение», «Методы анализа материалов».

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для прохождения научно-исследовательской практики.

4. Объем дисциплины

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических часов и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего
Общая трудоемкость в зачетных единицах	3
Общая трудоемкость в часах	108
Аудиторные занятия в часах	64
Лекции	38
Практические (лабораторные) занятия	26
Самостоятельная работа в часах	44
Вид итогового контроля (трудоемкость в зачетных единицах)	Зачет 7 семестр

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	38
Практические занятия	26
Лабораторные занятия	–
Консультации	
Зачет/зачеты	0,25
Экзамен/экзамены	–
Курсовые работы	–
Всего	64,25

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего зач.ед/час	Аудиторные		Самостоят. работа
			Лекции	Практ.	
1	Вводный раздел	4/0,11	2	–	2
2	Общие сведения о механических и физико-химических свойствах материалов и их поверхностей	8/0,22	2	2	4
3	Геометрические характеристики поверхностей	14/0,39	4	4	6
4	Трение твердых тел	16/0,44	6	4	6
5	Изнашивание материалов	16/0,44	6	4	6
6	Смазка	6/0,17	2	–	4
7	Тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке	12/0,33	4	4	4
8	Триботехнические материалы и	14/0,39	6	4	4

	триботехнологии				
9	Смазочные материалы	6/0,17	2	–	4
10	Методы и средства испытаний на трение и износ	12/0,33	4	4	4
	ВСЕГО:	108/3	38	26	44

5.2. Содержание дисциплины

1. Вводный раздел.

Основные понятия, термины и определения. Сведения об истории развития трибологии.

2. Общие сведения о механических и физико-химических свойствах материалов и их поверхностей.

Основы теории твердого тела. Силы связей в твердых телах. Изменение свойств твердых тел в зависимости от температуры.

Понятие о диаграммах состояния.

Упругие свойства кристаллов. Модули упругости и упругие постоянные. Теоретическая и реальная прочность кристаллов. Дефекты в кристаллах.

Механические свойства материалов. Свойства при динамическом нагружении. Пластическая деформация, упрочнение при пластическом деформировании. Сверхпластичность металлов.

Виды разрушения. Механизмы зарождения трещин. Вязкое, хрупкое разрушение. Явление несовершенной упругости. Упругий гистерезис и последствие. Эффект Баушингера. Ползучесть, усталость.

Диффузия в твердых телах. Законы диффузии.

Поверхность твердых тел. Особенности строения и состава поверхностных слоев. Изменение структуры поверхностных слоев в процессе трения. Атомная природа поверхностей трения.

Сорбционные процессы. Физическая адсорбция и хемосорбция. Адгезия и когезия. Виды адгезионного взаимодействия. Пленки на поверхностях твердых тел и механизмы их образования.

3. Геометрические характеристики поверхностей.

Геометрические характеристики поверхностей твердых тел

Общие представления о реальной топографии поверхностей трения. Методы описание поверхностей твердых тел. Характеристики микрогеометрии поверхностей. Методы измерения микрогеометрии.

Контактное взаимодействие твердых тел

Механика контактного взаимодействия твердых тел. Эпюры распределения напряжений. Контакт упругих тел при наличии трения. Контакт тел за пределами упругости.

Дискретность контакта. Микро- и макро-масштабный уровень рассмотрения характеристик дискретного контакта. Номинальная, контурная и фактическая площади касания. Сближение поверхностей под нагрузкой. Механика контактного взаимодействия твердых тел с шероховатыми поверхностями.

Методы расчета фактической площади касания. Соотношения между фактическими площадями контакта и сближением контактирующих тел в неподвижном состоянии и при скольжении. Экспериментальные способы определения фактических площадей касания и сближений.

4. Трение твердых тел.

Основные положения и развитие теории внешнего трения. Виды фрикционного взаимодействия. Трение скольжения, качения и верчения. Трение покоя. Механизмы диссипации энергии при фрикционном взаимодействии.

Определение сил и коэффициентов внешнего трения при упругих и пластических деформациях в зоне контакта микронеровностей. Зависимости коэффициента внешнего трения от вида контакта, нагрузки, температуры, скорости скольжения, свойств материалов пары трения.

Динамические процессы при скольжении твердых тел без смазочного материала. Влияние внешних вибраций на процесс трения. Фрикционные автоколебания. Устойчивость скольжения при трении твердых тел.

Природа трения качения. Качение упругих тел. Сцепление и проскальзывание при качении. Зависимость между тангенциальной силой и относительным проскальзыванием. Распределение нормальных и тангенциальных напряжений. Влияние тангенциального усилия в контакте на границы упругого и пластического поведения материала (диаграмма приспособляемости материала).

Качение тел, обладающих свойствами релаксации и последействия. Опоры качения. Контактная прочность. Долговечность опор качения.

5. Изнашивание материалов.

Классификация видов изнашивания. Количественные характеристики изнашивания. Простая модель изнашивания. Уравнение Арчарда. Износостойкость и классы износостойкости. Основные закономерности изнашивания. Особенности изнашивания полимерных материалов.

Термодинамический подход к разрушению и изнашиванию твердых тел.

Характеристика основных видов изнашивания: абразивное, гидроабразивное, кавитационное, усталостное, окислительное, при схватывании (заедании), при фреттинге, электроэрозионное, водородное, при избирательном переносе.

Основы расчета узлов трения на износ. Расчет формоизменения сопряженных тел при изнашивании.

Методы повышения износостойкости узлов трения.

6. Смазка.

Виды смазки. Классификация видов смазки (смазочного действия). Основные признаки, характеризующие виды смазки.

Жидкостная смазка. Виды жидкостной смазки: гидродинамическая, гидростатическая, гидростатодинамическая, эластогидродинамическая.

Гидродинамическая смазка. Основные уравнения теории гидродинамической смазки. Уравнение Рейнольдса и граничные условия. Уравнения переноса теплоты. Изотермическая и неізотермическая задачи теории гидродинамической смазки.

Расчет стационарно-нагруженных подшипников скольжения. Несущая способность, потери на трение в смазочном слое. Тепловой баланс. Нестационарно-нагруженные подшипники скольжения. Система уравнений движения вала, течения смазочного материала, переноса теплоты. Критерии оценки работоспособности подшипников скольжения. Гидродинамическая неустойчивость высокоскоростных подшипников скольжения.

Эластогидродинамическая смазка. Уравнения течения смазки и упругости. Зависимость вязкости смазочного материала от температуры и давления. Толщина смазочного слоя. Газовая смазка.

Граничная смазка. Граничная смазка. Природа и строение граничных слоев. Закономерности процессов при граничной смазке. Влияние смазочного материала, температуры, скорости скольжения, шероховатости поверхностей трения на процессы при граничной смазке.

ке. Долговечность граничных слоев. Переходные температуры при граничной смазке и температурно-кинетический метод их оценки. Изнашивание при граничной смазке. Подход к подбору смазочных материалов по критерию предельной температуры. Специфические методы организации граничной смазки: избирательный перенос (эффект безызносности), эффект трибополимеризации.

Трение, износ, смазка в экстремальных условиях. Трение, износ и смазка в экстремальных условиях. Влияние низких и высоких температур при трении. Воздействие радиации, вакуума, газовой среды, электромагнитных полей. Трибологические проблемы в космосе. Трение, сопровождаемое токообразованием.

7. Тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке.

Тепловые задачи при трении и изнашивании твердых тел. Общая постановка задачи теплопроводности при трении. Три основных режима трения: стационарный, нестационарный, квазистационарный. Влияние температуры на трибологические характеристики пар трения.

Расчет температур при стационарном режиме трения. Определение поля температур, средней температуры поверхности трения и температурной вспышки при нестационарном режиме трения. Коэффициент распределения тепловых потоков. Расчет объемной температуры при повторно-кратковременном режиме трения.

Тепловая динамика трения и износа твердых тел. Определение интенсивности изнашивания при трении с учетом тепловых процессов.

8. Триботехнические материалы и триботехнологии.

Триботехнические конструкционные материалы. Совместимость трибосистем. Выбор конструкционных материалов трибосистем с учетом их совместимости. Понятие о самоорганизации трибосистем. Принципы создания новых материалов на основе структурной приспособляемости и самоорганизации трибосистем.

Металлические материалы для узлов трения различного назначения. Рекомендуемые области использования антифрикционных сплавов. Порошковые, керамические композиционные материалы для антифрикционных и фрикционных узлов трения.

Полимерные и металлополимерные композиционные материалы для подшипников, опор скольжения, тормозов в муфт сцепления.

Триботехнологии. Виды износостойких покрытий и упрочнения поверхностных слоев. Наплавка износостойких слоев. Напыление износостойких покрытий из порошковых материалов. Лазерное упрочнение. Упрочнение ионно-плазменной обработкой. Диффузионные покрытия. Механотермическое формирование износостойких покрытий. Электрохимические покрытия.

9. Смазочные материалы.

Классификации смазочных материалов: по агрегатному состоянию, происхождению, способу получения, назначению. Жидкие смазочные материалы. Состав, эксплуатационные свойства и ассортимент масел. Базовые масла. Функциональные присадки, антифрикционные добавки к маслам.

Пластичные смазочные материалы. Состав, эксплуатационные свойства и ассортимент пластичных смазок.

Твердые смазочные материалы.

10. Методы и средства испытаний на трение и износ.

Трибометрия и трибодиагностика. Цикл триботехнических испытаний. Испытательная техника для трибологических испытаний и исследований пар трения. Особенности триботехнических испытаний смазочных материалов. Планирование экспериментов при оценке трения и износа.

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Основное содержание предмета излагается в лекциях, аудиторные практические занятия позволяют закрепить приобретенные знания и проверить степень усвоения их при решении базовых для предмета задач. Дальнейшее закрепление материала происходит при самостоятельной работе с теоретической частью предмета и при решении заданного объема задач. Для получения допуска к зачету необходимо полностью решить эти задачи. Студентам предлагается использовать рекомендованную литературу для более прочного усвоения учебного материала, изложенного на лекциях, а также для изучения материала, запланированного для самостоятельной работы.

Студенты должны регулярно изучать лекционный материал, поскольку пропущенные термины и понятия, неизученный материал не позволят полноценно освоить последующие лекции и получить необходимый объем знаний по изучаемому предмету, что приведёт в итоге к «пробелу» в комплексе знаний, необходимых физики. Курс строится таким образом, что понятия, введённые на предшествующих лекциях, широко используются в дальнейшем.

Для глубокого понимания предмета студенту недостаточно только разбирать лекции, необходимо также уметь применять полученные на лекциях знания в ходе практических занятий. Умением решать задачи проверяется полнота усвоения полученных теоретических знаний. Студент обязан решать вместе с преподавателем на практических занятиях предлагаемые задачи, а, кроме того, обязательно решать однотипные задачи, предложенные для самостоятельной (внеаудиторной) работы.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Вводный раздел	Обзор литературы	2	Для подготовки к ответу рекомендуется пользоваться учебником [1] из списка основной литературы	Устный опрос
2	Общие сведения о механических и физико-химических свойствах материалов и их поверхностях	Решение индивидуальных заданий	4	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Индивидуальная проверка
3	Геометрические характеристики поверхностей	Решение задач по теме, подготовка докладов	6	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Индивидуальная проверка, презентация докладов
4	Трение твердых тел	Решение задач по теме	6	Для подготовки к решению индивидуальных	Индивидуальная проверка

				заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	
5	Изнашивание материалов	Аналитический обзор литературы, подготовка докладов	6	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Выступление с презентацией
6	Смазка	Обзор литературы, решение задач	4	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Устный опрос, проверка решений
7	Тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке	Решение задач по теме	4	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Индивидуальная проверка
8.	Триботехнические материалы и триботехнологии	Решение задач по теме	4	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Письменная самостоятельная работа
9	Смазочные материалы	Обзор литературы, решение задач	4	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Письменная самостоятельная работа
10	Методы и средства испытаний на трение и износ	Обзор литературы, решение задач	4	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–3] из списка основной литературы	Письменная самостоятельная работа

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Тема № 2

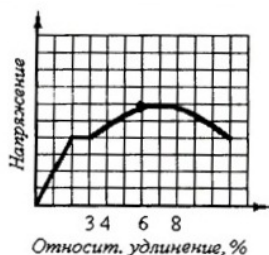
Общие сведения о механических и физико-химических свойствах материалов и их поверхностях.

№ 1. Какое свойство материала характеризует его сопротивление упругому и пластическому деформированию при вдавливании в него другого, более твердого тела?

А) Выносливость. В) Прочность. С) Упругость. D) Твердость.

№ 2. При испытании на растяжение образец нагрузили до напряжения R после чего нагрузку сняли. Какова величина относительного удлинения образца (рис.)?

А) 6 % . В) 4 % . С) 3 % . D) 8 % .



№ 3. На рис. изображена диаграмма растяжения для условных напряжений. Поведение каких металлов она отражает?



А) Пластичных. В) Она может принадлежать любому металлу. С) Металлы не могут иметь такую диаграмму. Это неметаллический материал. D) Хрупких.

№ 4. Вдоль какой плоскости ГЦК легче всего происходит скольжение?

А) (111). В) (100). С) (200). D) (110).

№ 5. Какие факторы строения реальных кристаллов вызывают пластические деформации при напряжениях меньших, чем рассчитанные для идеальной модели кристаллической решетки?

А) Точечные дефекты. В) Дислокации. С) Поверхностные дефекты. D) Дефекты кристаллического строения.

№ 6. При каком виде излома в зоне разрушения хорошо просматриваются форма и размер зерен?

А) При транскристаллитном. В) При хрупком. С) При вязком. D) При усталостном.

№ 7. При каком виде излома в области разрушения видны две зоны (предварительного разрушения и долома)?

А) При интеркристаллитном. В) При усталостном. С) При транскристаллитном. D) При вязком.

№ 8. Как называется механическое свойство, определяющее способность металла сопротивляться деформации и разрушению при статическом нагружении?

А) Прочность. В) Вязкость разрушения. С) Ударная вязкость. D) Живучесть.

№ 9. Что называют конструктивной прочностью материала?

А) Способность противостоять усталости. В) Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины. С) Способность сопротивляться развитию постепенного

разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени. D) Комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу в условиях эксплуатации.

№ 10. Какое свойство материала называют надежностью?

A) Способность противостоять усталости. B) Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины. C) Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени. D) Способность противостоять хрупкому разрушению.

№ 11. Какое свойство материала называют долговечностью?

A) Способность оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию. B) Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени. C) Способность противостоять хрупкому разрушению. D) Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины.

№ 12. Какое свойство материала называют выносливостью?

A) Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени. B) Способность противостоять усталости. C) Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины. D) Способность противостоять хрупкому разрушению.

№ 13. Что такое живучесть?

A) Продолжительность работы детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером 0,5 ... 1,0 мм до разрушения. B) Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени. C) Способность материала оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию. D) Способность противостоять хрупкому разрушению.

№ 14. Что такое порог хладноломкости?

A) Максимальная ударная вязкость при температурах хрупкого состояния. B) Максимальная прочность при температурах хрупкого состояния. C) Относительное снижение ударной вязкости при переходе из вязкого состояния в хрупкое. D) Температура перехода в хрупкое состояние.

№ 15. Как влияет поверхностное упрочнение на чувствительность металла к концентраторам напряжений?

A) Не влияет на чувствительность. B) Характер влияния зависит от вида упрочнения. C) Понижает чувствительность. D) Повышает чувствительность.

№ 16. Что такое длительная прочность?

A) Напряжение, вызывающее разрушение при определенной температуре за данный отрезок времени. B) Свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность детали в течение заданного времени. C) Долговечность детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости до разрушения. D) Напряжение, вызывающее заданную скорость деформации при данной температуре.

№ 17. Что такое предел ползучести?

A) Этап ползучести, предшествующий разрушению, при котором металл деформируется с постоянной скоростью. B) Напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданной малой величины, установленной условиями. C) Напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2 %. D) Напряжение, вызывающее данную скорость деформации при данной температуре.

№ 18. Что такое удельные механические свойства?

A) Отношение прочностных свойств материала к его пластичности. B) Отношение механических свойств материала к его плотности. C) Отношение механических свойств материала к

площади сечения изделия. D) Отношение механических свойств материала к соответствующим свойствам железа.

№ 19. Как называется явление упрочнения материала под действием пластической деформации?

A) Текстура. B) Улучшение. C) Деформационное упрочнение. D) Полигонизация.

№ 20. Что такое критическая степень деформации?

A) Степень деформации, приводящая после нагрева деформированного материала к гигантскому росту зерна. B) Степень деформации, при которой достигается наибольшая возможная плотность дефектов кристаллической структуры. C) Минимальная степень деформации, при которой запас вязкости материала становится равным нулю. D) Минимальная степень деформации, при которой рекристаллизационные процессы не вызывают роста зерна.

№ 21. Что такое рекристаллизация?

Это группа явлений, происходящих при нагреве деформированного металла и охватывающих ...

A) процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникающими при скольжении и переползании дислокаций. B) все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств. C) процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения. D) изменения тонкой структуры (главным образом уменьшение количества точечных дефектов).

Тема № 3

Геометрические характеристики поверхностей.

1. Для пяти профилограмм, снятых с различных участков исследуемой поверхности, получены значения $t_{mi} = 0,5; 0,6; 0,51; 0,55; 0,5$; $R_{pi} = 3,2; 3,4; 3,5; 3,0; 3,3$ мкм; $R_{ai} = 1,4; 1,31; 1,30; 1,35; 1,35$ мкм; $R_{max i} = 6,5; 6,9; 7,1; 6,1; 6,3$ мкм. Рассчитать обобщённые параметры опорной кривой v и b .

2. Рассчитать радиус кривизны вершин выступов для случая, когда поперечная профилограмма имеет горизонтальное увеличение $\gamma_z = 400$ и вертикальное $\gamma_e = 1000$. Расстояние между линией вершин и линией впадин $R_{max} = 42$ мм.

3. Рассчитать фактическое давление для контакта двух одинаковых стальных поверхностей. $R_{a1} = R_{a2} = 0,08$ мкм; $r_n = 800$ мкм; $E = 2 \cdot 10^4$ кгс/мм²; $\mu = 0,3$; $p_c = 2$ кгс/мм².

4. Рассчитать сближение двух одинаковых стальных поверхностей $R_{z1} = R_{z2} = 0,3$ мкм; $r = 300$ мкм; $E = 2 \cdot 10^4$ кгс/мм²; $\mu = 0,3$; $p_c = 1$ кгс/мм².

Тема № 4

Трение твердых тел.

1. Узел трения – подшипник скольжения. Вал изготовлен из закалённой стали 45, твёрдость HRC 52. Поверхность его обработана круглым шлифованием по 9-му классу шероховатости. Подшипник имеет вкладыш, изготовленный из бронзы БрОЦС 6-6-3, твёрдость HB 70, модуль упругости $E = 9 \cdot 10^3$ кгс/мм², обработан развёрткой по 9-му классу шероховатости. Характеристики поверхности стального вала следующие: $b = 0,6$; $v = 2$; $\Delta = 9,6 \cdot 10^{-2}$; $R_{max} = 2,4$ мкм; $r = 10$ мкм.

2. Узел трения – дисковая муфта сцепления. Нормальное давление $p_a = 4$ кгс/см². Маховик и нажимной диск изготовлены из СЧ 15-32. Параметры кривой опорной поверхности $b = v = 2$; $\Delta = 5,3 \cdot 10^{-2}$. Твёрдость маховика и нажимного диска HB 250. Накладки изготовлены из композиционного материала твёрдостью HB 10. Модуль упругости 370 кгс/мм². Рабочая температура муфты сцепления $\vartheta = 60^\circ\text{C}$. Молекулярная составляющая коэффициента трения в этих условиях $f_{\mu} = 0,15$. Найти коэффициент внешнего трения.

Тема № 5.

Изнашивание материалов.

1. Рассчитать интенсивность изнашивания пары трения торцевого уплотнения, состоящего из фланца, выполненного из стали 45, и уплотнительного кольца из поликарбоната. Поверхность трения фланца обработана круглым шлифованием. Параметр шероховатости $R_a=0$. Номинальное давление составляет 5 кгс/см^2 . Коэффициент трения 0,2. Необходимо определить износ уплотнительного кольца на пути трения 100 км.

Физико-механические характеристики поликарбоната для условий эксплуатации: $E=12000 \text{ кгс/см}^2$; $\sigma_0=8400 \text{ кгс/см}^2$; $t_g=2,9$.

Шероховатость поверхности трения фланца характеризуется микрогеометрическим комплексом $\Delta=0,01$, $v=2$.

Тема № 7

Тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке.

1. Вычислить температуру поверхности торцевой пары трения фторопласт-4 – сталь 12Х18Н9Т через 10 минут после начала движения.

Исходные данные: $n=5000 \text{ об/мин}$; $N=0,6 \text{ кгс}$; $a=1 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$; $b=0,027$; $r_1=0,02 \text{ м}$; $r_2=0,03 \text{ м}$, $\vartheta_0=273 \text{ К}$; $\lambda_1=15,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $C_1=0,462 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; $\rho_1=8130 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_2=0,279 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $C_2=0,973 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; $\rho_2=2150 \text{ кг/м}^3$ (индекс 1 относится к нержавеющей стали).

Тема № 8.

Триботехнические материалы и триботехнологии.

1. Перечислите известные вам триботехнологии.

Тема № 10.

Методы и средства испытаний на трение и износ.

1. В чем состоят особенности трибологических испытаний смазочных материалов?
2. Что включает в себя рациональный цикл трибологических испытаний?

7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. *Аргатов, И. И.* Основы теории упругого дискретного контакта : учебное пособие / И. И. Аргатов, Н. Н. Дмитриев. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Политехника, 2012. – 236 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=123847>
2. *Крагельский, И. В.* Развитие науки о трении: Сухое трение / И. В. Крагельский, В. С. Щедров. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1956. – 235 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257419>
3. *Крагельский, И. В.* Коэффициенты трения / И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. – 2-е изд., доп., перераб. – Москва : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1962. – 222 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213700>

б) дополнительная литература:

1. *Белкин, П. Н.* Механические свойства, прочность и разрушение твердых тел : [учеб. пособие]. - Кострома : КГУ, 2005. - 189 с. - Библиогр.: с. 188. Машков Ю.К. , Полещенко К.Н. Трение и модифицирование материалов трибосистем. М.: Наука.2000–280с. <http://library.ksu.edu.ru/ShowMarc.asp?docid=33099>

2. Белкин, П. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. - М. : Мир, 2005. - 336 с. <http://library.ksu.edu.ru/ShowMarc.asp?docid=30868>

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Информационно-образовательные ресурсы:

1. Библиотека ГОСТов. Все ГОСТы, [Электронный ресурс], URL:<http://vsegost.com/>

Электронные библиотечные системы:

1. <http://studentam.net>

2. <http://mexalib.com>

3. <http://booksee.org>

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория для лекций

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

Аудитория для практических занятий:

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

Аудитории для самостоятельной работы:

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office T3-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.