

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БОРИСОГЛЕБСКИЙ ФИЛИАЛ
(БФ ФГБОУ ВО «ВГУ»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
Трибология

1. Код и наименование направления подготовки:

15.03.01 Машиностроение

2. Профиль подготовки:

Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

3. Квалификация (степень) выпускника:

Бакалавр

4. Форма обучения:

Очная, заочная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра прикладной математики, информатики, физики и методики их преподавания

6. Составитель(и):

Б. У. Шарипов, доктор технических наук, доцент

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Ведение конспекта лекций должно сопровождаться графическими построениями, раскрывающими основные положения и методы курса. Заголовки тем и разделов должны быть выделены, чертежи и схемы выполнены карандашом. Новые термины и определения следует давать с пояснениями, общепринятыми сокращениями или аббревиатурой, которые позволяют сократить запись. Пропущенные лекции должны быть переписаны. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практическом занятии.
Практические и лабораторные занятия	В процессе освоения дисциплины студенты выполняют лабораторные работы, результаты наблюдений оформляют в отдельной тетради. При защите лабораторных работ студент отвечает на вопросы, касающиеся теории и методики проведения эксперимента, обработки экспериментальных данных.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, отработанные методы решения задач и приобретенные навыки анализа и проверки выполненных решений.

8. Методические материалы для обучающихся по освоению теоретических вопросов дисциплины

п/п	Тема лекции	Рассматриваемые вопросы
1.1	Введение.	Трибология. Триботехника. Значимость трибологии и триботехники в машиностроении. История развития науки о трении. Классификация трения. Первые законы трения
1.2	Некоторые свойства твердых тел	Кристаллическая структура твёрдых тел. Полиморфизм. Свободная поверхность. Дефекты кристаллического строения и их причины. Макроструктура твёрдых тел (поликристаллы). Иерархия структурных уровней твёрдых тел. Аморфные структуры твёрдых тел.
1.3	Изменение структуры материалов при деформировании	Деформации тел. Виды деформаций. Диаграмма растяжения металлических материалов. Прочность. Пластичность. Механизмы пластической деформации. Наклёп (деформационное упрочнение) при резании металлов. Разрушение. Возврат и рекристаллизация металлов. Холодное и горячее деформирование.
1.4	Особенности проявления трения в машиностроении. Методы анализа поверхностей	Классификация трения. Закономерности статического трения. Измерение статического коэффициента трения. Трение скольжения. Измерение динамического коэффициента трения. Двучленный закон трения. Молекулярно–механическая теория трения. Деформационно–адгезионная теория трения. Закон аддитивности трения. Фрикционные связи. Классификация фрикционных пар. Основные характеристики фрикционных связей. Схватывание. Главные задачи управления схватыванием поверхностей. Взаимная связь трения и износа с температурами

		трения. Их влияние на изменение коэффициента трения.
1.5	Износ и методы лабораторного анализа износа поверхностей	Классификация износостойкости. Стандартная классификация видов изнашивания трибопар. Водородное изнашивание. Изнашивание при избирательном переносе. Вторичные структуры. Приспособляемость
1.6	Физический принцип влияния смазки, ее разновидности	Функционально-физический принцип смазки. Типы смазки, применяемые при механической обработке. Гидродинамическая смазка. Минеральные масла. Функциональные присадки и антифрикционные добавки. Антифрикционные материалы подшипников гидродинамического трения. Аэродинамическая (газовая) смазка. Эластогидродинамическая смазка. Граничная смазка.
1.7	Методы исследования изнашивания	Критерии изнашивания режущих инструментов. Физическое истолкование пластической деформации при резании
1.8	Обобщенные, физические представления о природе трения	Природа оптимальной температуры при контактом взаимодействии инструментальных и обрабатываемых материалов. Влияние температуры на интенсивность изнашивания режущих инструментов.
1.9	Методы прогнозирования изнашивания контактирующих материалов	Методы прогнозирования по: адгезионным исследованиям, когезионным характеристикам, характеру поведения физико-механических свойств материалов.

Вопросы к экзамену по дисциплине Трибология

1. Абразивное изнашивание. Адгезионное изнашивание. Износ как перенос материала из зоны трения.
2. Влияние фрикционных колебаний на прочность деталей. Причины фрикционных автоколебаний в их проявление в технике.
3. Дефекты кристаллического строения и их общие свойства. Макроструктура твёрдых тел (поликристаллы). Аморфные структуры твёрдых тел.
4. Деформации упругого полупространства под влиянием поверхностных сил. Теория контактного взаимодействия Герца. Контакт упругих тел с искривленной поверхностью.
5. Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы. Касательная контактная задача при отсутствии проскальзывания.
6. Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы. Касательная контактная задача с учетом микропроскальзывания.
7. Зависимость коэффициента трения от различных условий: продолжительности контакта, нормальной силы, шероховатости поверхности контакта, скорости скольжения. Теория Боудена и Тейбора.
8. Зависимость коэффициента трения от температуры. Температурные вспышки в микроконтакте. Термомеханическая неустойчивость.
9. Закон Кулона. Трение покоя и трение скольжения. Угол трения. Физическая природа сил трения: механическое сопротивление, действие электромагнитных сил. Коэффициент трения.
10. Контакт твердого тела с упругим полупространством. Теория нормального контактного взаимодействия с адгезией Джонсона.

11. Контактные взаимодействия упругих тел при качении. Распределение напряжений в месте контакта тел при качении.
12. Модель контактного взаимодействия Гринвуда и Вильямсона. Пластическая деформация шероховатостей. Электрические контакты. Тепловые контакты.
13. Молекулярно–механическая теория трения. Деформационно–адгезионная теория трения. Закон аддитивности трения.
14. Неустойчивость, обусловленная зависимостью коэффициента трения от скорости скольжения и в системе с распределенной упругостью.
15. Особенности проявления трения и контактного взаимодействия между телами. Развитие механики контактного взаимодействия и физики трения. Классификация трения.
16. Причины фрикционного контактного взаимодействия.
17. Простые контактные задачи. Качественные методы оценки контактов с трехмерными упругими телами.
18. Релаксация напряжений и диссипация энергии в вязкоупругом материале. Реологические модели эластомеров. Модель резины. Изменение модуля сдвига эластомеров.
19. Силы межмолекулярного взаимодействия. Силы Ван-дер-Ваальса и их влияние на поверхностный слой материалов. Клейкая лента.
20. Стандартная классификация видов изнашивания трибопар. Водородное изнашивание. Изнашивание при избирательном переносе.
21. Термодинамическая модель трения. Уравнения энергетического баланса трения. Энергетическая интерпретация коэффициента трения Леонардо да Винчи.
22. Трибологические системы со смазкой. Гидродинамическая теория смазки. Вязкая адгезия. Реология смазочных материалов.
23. Трибологические системы со смазкой. Граничная смазка. Эластогидродинамическая смазка. Твердые смазки.
24. Условия для трения с минимальным износом. Износ эластомеров. Влияние ультразвуковых колебаний на силу трения.
25. Физическая природа сил адгезии. Адгезия между телами с искривленной поверхностью. Качественные оценки сил адгезии между упругими телами. Влияние шероховатости поверхности на адгезию.
26. Физическая природа сил адгезии. Адгезия между телами с искривленной поверхностью. Качественные оценки сил адгезии между упругими телами. Влияние шероховатости поверхности на адгезию.
27. Фрикционные колебания и способы борьбы с ними. Влияние фрикционных колебаний на износ деталей.
28. Электрические контакты. Тепловые контакты. Механическая жесткость контактов. Уплотнения. Шероховатость и адгезия.

9. Методические материалы для обучающихся по подготовке к практическим/лабораторным занятиям

п/п	Тема занятия	Рассматриваемые вопросы
Практические занятия		
2.1	Введение.	Основные понятия и положения трибологии
2.2	Некоторые свойства твердых тел	Дефекты кристаллического строения и их причины.
2.3	Изменение структуры материалов при деформировании	Механизм формирования наклёпа при резании металлов. Влияние различных факторов на величину наклёпа.

2.4	Особенности проявления трения в машиностроении. Методы анализа поверхностей	Некоторые методы анализа поверхностей. Метод косо́го сечения. Оптический метод. Электронная микроскопия. Отражающая микроскопия.
2.5	Износ и методы лабораторного анализа износа поверхностей	Методика расчётов на износ. Энергетические методы оценки и прогноза износа и износостойкости. Триботехника.
2.6	Физический принцип влияния смазки, ее разновидности	Типы смазки, применяемые при резании металлов.
2.7	Методы исследования изнашивания	Анализ кривых изнашивания инструмента при резании металлов.
2.8	Обобщенные, физические представления о природе трения	Влияние свойств контактирующих пар на величину оптимальной температуры резания и интенсивность изнашивания режущих инструментов.
2.9	Методы прогнозирования изнашивания контактирующих материалов	Расчет ожидаемой интенсивности изнашивания режущих инструментов.
Лабораторные работы		
3.1	Особенности проявления трения в машиностроении. Методы анализа поверхностей	Влияние температуры контакта инструментального и обрабатываемого материалов на их адгезионные характеристики
3.2	Физический принцип влияния смазки, ее разновидности	Влияние смазок на характер трения контактирующих материалов
3.3	Обобщенные, физические представления о природе трения	Влияние входных параметров на температуру резания

10. Тематика рефератов/докладов/эссе, методические рекомендации по выполнению контрольных и курсовых работ, иные материалы

Тематика лабораторных работ

Лабораторная работа №1

Тема.

Лабораторная работа №2

Тема: Исследование влияние режима обработки на температуру в зоне контакта.

Лабораторная работа №3

Тема: Исследование изнашивания режущих инструментов.

М

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Изучение некоторых физических процессов, характерных для механической обработки металлов, представляет определенные трудности. Например, при контактном взаимодействии обрабатываемого и инструментального материалов в процессе резания в зонах локального контакта формируются довольно высокие температуры (до 900 °С и выше). При этом время единичного контакта

неровностей длится доли секунды. Поэтому исследование температурных зависимостей выходных параметров процесса осуществляют на установках, реализующих физическую модель контакта единичной микронеровности более твердого материала пары с мягким контртелом [1].

Выполнение таких экспериментов требует применения сложного нестандартного оборудования, дорогостоящего и требующего значительных энергетических и временных затрат. Поэтому применение такого оборудования для выполнения учебных лабораторных работ не всегда возможно. Вместе с тем, знания о напряженном состоянии зоны контакта инструмента и заготовки, их взаимосвязи с интенсивностью изнашивания режущего инструмента и с формированием обработанного поверхностного слоя детали позволяют объяснять некоторые аспекты этих процессов [2].

На рисунке 1 приведена схема установки для исследования адгезионной составляющей трения при высоких, соответствующих процессу резания металлов, температурах.

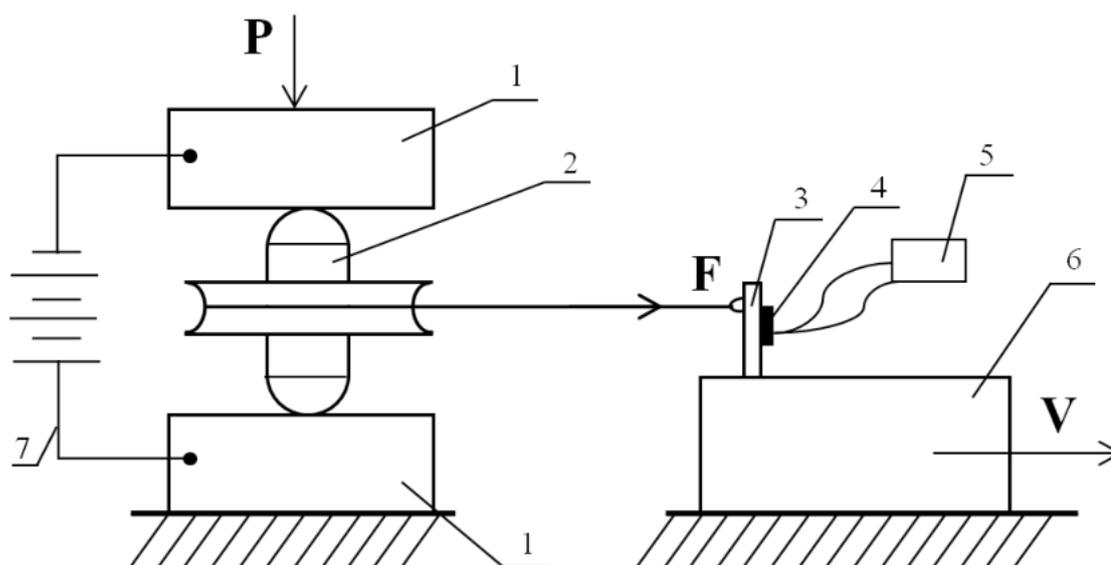


Рис.1. Схема установки для исследования адгезионной составляющей трения

(1 – образцы из обрабатываемого материала; 2 – индентор из инструментального материала; 3 – упругая пластина; 4 – тензодатчик; 5 – регистрирующее устройство; 6 – тянущее устройство; 7 – система нагрева)

При выполнении реального физического эксперимента рабочие поверхности образцов (1) полируются до 13б – 14а классов шероховатости. Полусферы на торцах индентора из инструментального материала также полируются. Индентор сжимается между образцами с определенной нагрузкой P и нагревается до температуры исследования. Предварительная температурная тарировка позволяет в дальнейшем устанавливать температуру по величине тока нагрева. После

установления в зоне контакта требуемой температуры включают тянущее устройство, индентор начинает вращаться, преодолевая силу трения. Величину силы F определяют по степени деформации упругой пластины, которая измеряется с помощью тензодатчика и регистрируется самопишущим прибором. Предварительно пластина также тарируется.

Такой метод исследования трения позволяет исключить влияние деформационной составляющей на показания адгезионной составляющей, ответственной за интенсивность процессов изнашивания инструмента и формирование параметров качества обработанного поверхностного слоя детали в реальном процессе резания.

Лабораторная работа «Исследование трения при высоких температурах».



Рис. 2. Начальный экран

Каждой группе студентов (2-3 студента) преподаватель задает пару трения. По номеру варианта студенты выясняют марки инструментального и обрабатываемого материалов в окне «Исходные данные» (рис.3). Для примера рассмотрен I вариант, в котором необходимо исследовать трение никелевого сплава ХН60ВТ с инструментальным твердым сплавом ВК8.

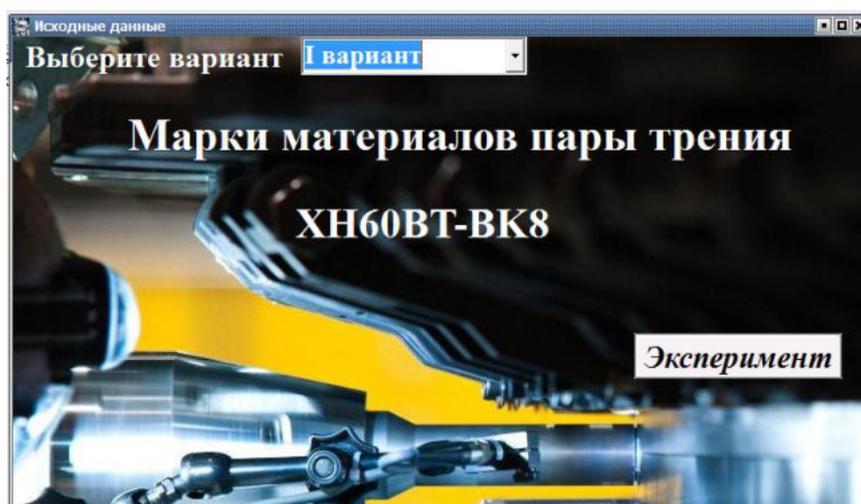


Рис.3. Выбор исходных данных

1. Выполнение эксперимента.

При нажатии кнопки «Эксперимент» на экране появляется схема установки (рис. 4), и указаны численные значения температур контакта, при которых следует выполнить очередной опыт.

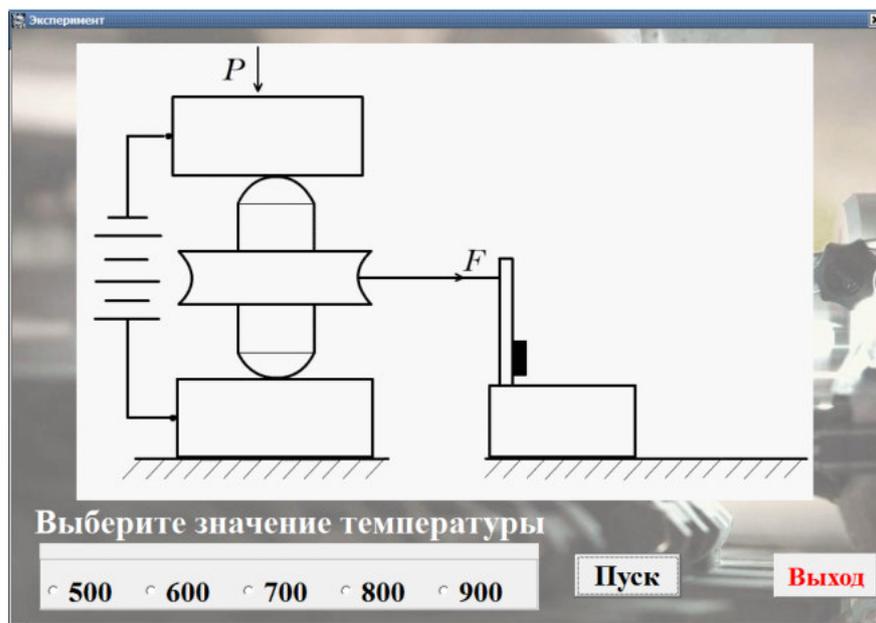


Рис.4. Выполнение эксперимента

В эксперименте необходимо выполнить пять опытов при разных температурах контакта: 500; 600; 700; 800; 900 °С.

После выбора требуемого значения температуры, нажимаем кнопку «Пуск», и установка приходит в действие. После перемещения салазок в крайнее правое положение в окне на экране появляются данные (численные значения: температуры – Θ °С; радиуса отпечатка – r , мм; силы давления – P , кН и силы, необходимой на вращение индентора – F , Н) (рис.5.).

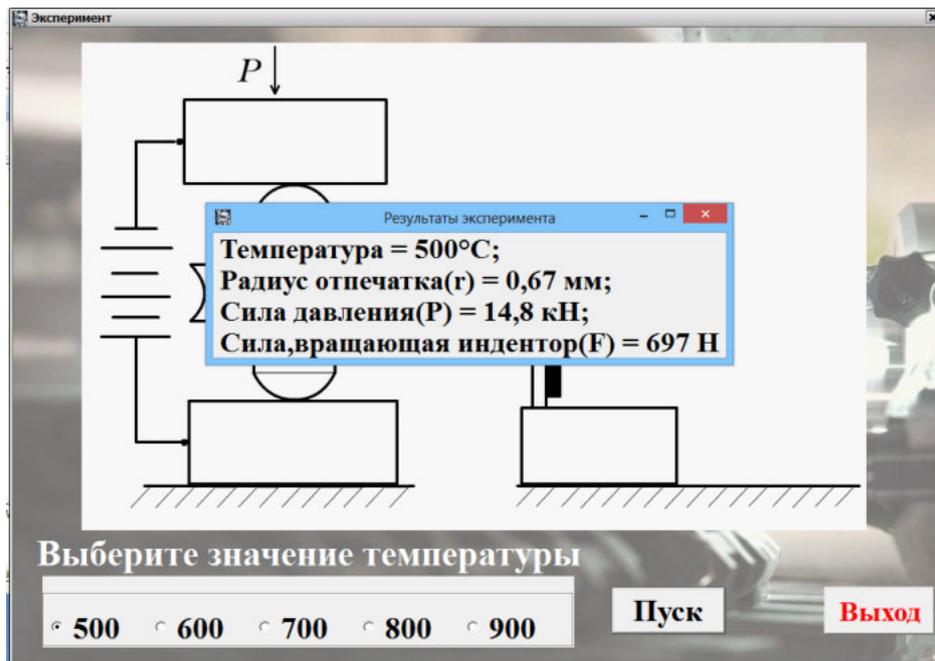


Рис.5. Окно результатов опыта

Результаты опыта необходимо занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Протокол эксперимента

№ п/п	Θ, °С	г, мм	Р, кН	F, Н
1	500			
2	600			
3	700			
4	800			
5	900			

Повторить опыты с остальными температурами.

2. Вычислить нормальные

$$P_r = \frac{P}{\pi r^2}$$

и касательные напряжения на контакте

$$\tau_n = \frac{3}{4} \frac{F \cdot R}{\pi r^3},$$

где R – радиус рабочей канавки диска индентора;

r – радиус отпечатка индентора (2) на поверхности образцов (1)

Рассчитать величину адгезионной составляющей коэффициента трения по формуле

$$f_a = \frac{\tau_n}{P_r}$$

и заполнить таблицу 2.

Таблица 2. Результаты вычислений

№ п/п	Θ , °С	p_r , МПа	τ_n , МПа	f_a
1	500			
2	600			
3	700			
4	800			
5	900			

3. Построить графики зависимостей

$$p_r = f(\Theta);$$

$$\tau_n = f(\Theta);$$

$$f_a = f(\Theta).$$

4. Сделать вывод о зависимости параметров трения от температуры.

Список литературы

1. Постнов В.В. Процессы на контактных поверхностях, износ режущего материала и свойства обработанной поверхности / В.В. Постнов, Б.У. Шарипов, Л.Ш. Шустер учеб. Пособие // Под общ. ред. Л.Ш. Шустера. – Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1988. – 224 с.
2. Шарипов Б.У. Трение при высоких температурах / Б.У. Шарипов. – Борисоглебск: ФГБОУ ВПО «БГПИ», 2012. – 114с.

Лабораторная работа №2

Исследование влияние режима обработки на температуру в зоне контакта.

Лабораторная работа №2 выполняется по программе лабораторной работы №1, с заменой составляющих сил резания на температуру контакта. Принципы методов вычисления аналогичны с лабораторной работой №1.