

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

В.Н. Кротов, Л.А. Кармазина

ВИДЫ ИЗНАШИВАНИЯ И ПРИЧИНЫ ОТКАЗА
ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам

Ростов-на-Дону
2017

УДК 621.89(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент О.А. Ворон

Кротов, В.Н.

Виды изнашивания и причины отказа деталей подвижного состава: учебно-методическое пособие к лабораторным работам / В.Н. Кротов, Л.А. Кармазина; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 29 с.

Содержит методические материалы по учебному курсу «Виды изнашивания и причины отказа деталей подвижного состава» и предназначено для подготовки к выполнению лабораторных работ.

Описывается методика проведения экспертизы вышедших из строя деталей. Даются рекомендации по обследованию изношенных или разрушенных деталей и порядок составления отчета по результатам обследования.

Предназначено для студентов специальностей, связанных с эксплуатацией, производством и ремонтом подвижного состава железных дорог.

Одобрено к изданию кафедрой «Технология металлов».

Оглавление

Лабораторная работа № 1. Испытательные машины для лабораторных исследований изнашивания металлов	4
Лабораторная работа № 2. Классификация видов изнашивания и их характеристика	7
Лабораторная работа № 3. Причины отказа деталей экипажной части подвижного состава	14
Лабораторная работа № 4. Причины отказа деталей оборудования локомотивов и вагонов	16
Лабораторная работа № 5. Макро- и микроструктурные исследования деталей	17
Лабораторная работа № 6. Исследование износа деталей с целью выбора метода упрочнения и повышения срока службы	18
Лабораторная работа № 7. Методы и приборы для оценки характеристик изнашивания	20
Лабораторная работа № 8. Оценка механических характеристик поверхности изнашивания	27
Библиографический список	28

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗНАШИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

За многие десятилетия изучения процессов трения и изнашивания металлов были созданы испытательные машины, воспроизводящие тот или иной вид трения или воздействия на испытуемый образец.

Одной из первых типовых испытательных машин для исследования износа была машина Амслера (рис. 1), позволяющая оценивать износ при трении скольжения (*в*) и трении качения (*б*) с измерением момента трения с помощью маятникового устройства 1 с записью момента трения на самописце 2.

Второй классической машиной для исследования металлов при абразивном изнашивании о шлифовальную бумагу была созданная М.М. Хрущевым машина Х4-Б (рис. 2). Образец перемещается вдоль радиуса диска по спирали, т.е. каждый раз по новому (свежему) абразиву.

Для исследования износа при возвратно-поступательном перемещении образцов создавались различные машины. Примером может быть испытательная установка А.А. Полякова и Д.Н. Гаркунова (рис. 3), в которой верхний образец 2 прижимается усилием груза через рычажную сцепку 4 к образцу 1, закрепленному на ползуне 5. Ползун с помощью кривошипно-шатунного механизма 3 получает возвратно-поступательное перемещение. Машина позволяет менять длину хода ползуна и среду, в которой перемещаются испытуемые образцы.

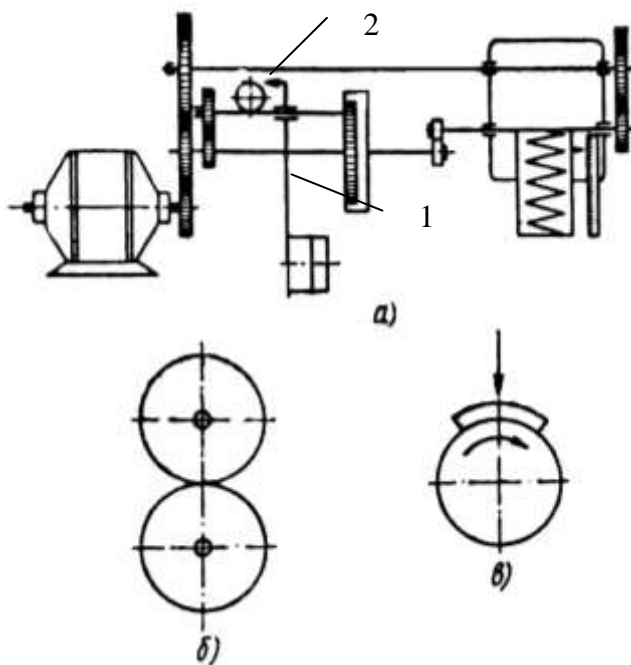


Рис. 1. Схема машины Амслера для испытания на износ

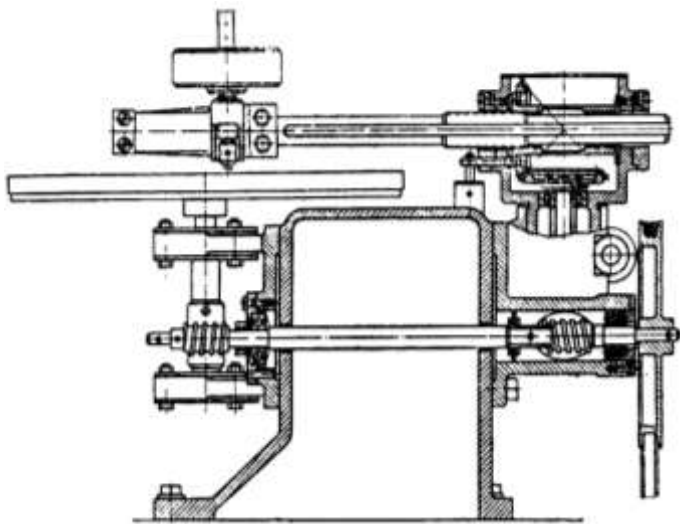


Рис. 2. Схема испытательной машины М.М. Хрущева Х4-Б для исследования абразивного изнашивания

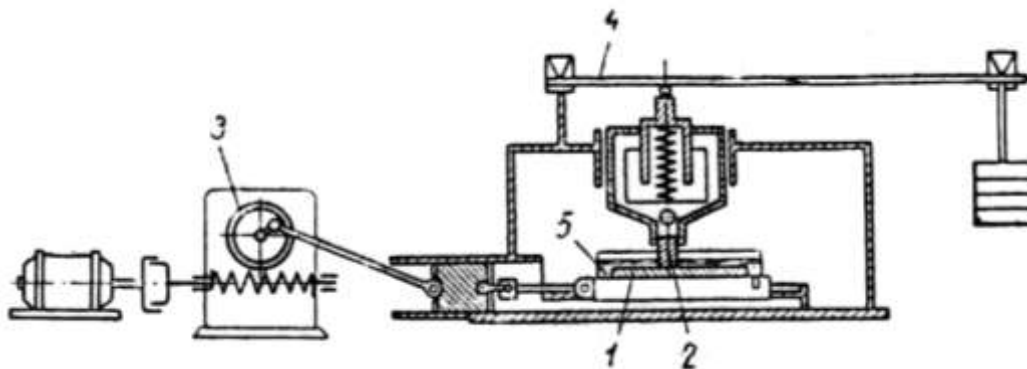


Рис. 3. Схема машины А.А. Полякова и Д.Н. Гаркунова для исследования износа при возвратно-поступательном перемещении

Приведенными примерами не исчерпывается разнообразие лабораторных испытательных установок.

В последние годы созданы серийные испытательные машины. Ниже перечислены некоторые из них и даны их характеристики.

Машина СМЦ-2 – позволяет исследовать трение качения с проскальзыванием, без проскальзывания и трение скольжения в условиях смазки и без нее. Допускается использование в смазке абразива.

Частота вращения	5...16,66 об/с.
Коэффициент проскальзывания	0...100%.
Нагрузка на образец:	
– при замкнутой схеме – трение качения	100...2000 Н;
– при незамкнутой схеме – трение скольжения	200...5000 Н.
Максимальный момент трения	15 Нм.
Изменение момента электрическое.	

Машина МФТ-1 – позволяет оценивать коэффициент трения, износ и фрикционную теплостойкость материалов при трении кольцевых образцов, прижимаемых друг к другу, при коэффициенте перекрытия равном единице.

Позволяет оценивать: линейный износ (непрерывно с помощью индуктивного датчика), момент трения, температуру, частоту вращения и суммарный линейный износ образцов с записью на соответствующей диаграмме.

Количество одновременно испытываемых образцов . . .	1
Частота вращения	0,17...100 об/с
Диапазон оборотов вращения	1...600 об/мин
Усилие прижатия	75...3000 Н
Максимальный момент трения	9 Нм
Радиус трущихся поверхностей	24 мм
Мощность электропривода	14 кВт.

Машина МДП-1 дисковая – позволяет определять коэффициент трения и интенсивность изнашивания различных материалов при небольшом коэффициенте перекрытия в процессе трения трех круглых кольцевых образцов, прижимаемых к торцу диска. Запись результатов испытаний аналогична записи на МФТ-1.

Количество одновременно испытываемых образцов	3
Частота вращения контробразца	0,15 - 15 об/с
Диапазон частот вращения	1...333 об/мин
Усилия прижатия образца	100...4500 Н
Предельный момент трения	330 Нм
Радиус трущихся поверхностей	60...500 мм.

Машина МПП-1 – для испытания на изнашивание при возвратно-поступательном движении образцов.

Одновременное число испытываемых образцов	3
Температура испытания (термокамера)	температура окр. среды и до 200 °С

Допускается изменение силы трения с помощью грузов и изучение автоколебательных фрикционных процессов при трении.

Машина МАСТ-1 – предназначена для оценки смазочных и антифрикционных свойств масел и материалов при нормальной и повышенной температуре. Машина четырехшариковая. Оценивается критическая температура переходного смазочного режима, коэффициент трения, величина износа, характеристики совместимости трущихся пар. Верхний закреплённый шарик перемеща-

ется по трем нижним, установленным в обойме. Измерение момента трения и температуры автоматизировано /2/.

Перечисленные машины не всегда могут воспроизвести вид изнашивания, которому подвергаются реальные детали в эксплуатации. Для моделирования условий, приближенных к эксплуатационным, создаются специальные испытательные машины и установки.

Лабораторная работа № 2

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ИЗНАШИВАНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В литературе по трению и износу приводятся различные варианты классификации видов разрушения деталей машин и механизмов. Наиболее полная классификация /12/ учитывает все виды и подвиды изнашивания деталей сельскохозяйственных механизмов, условия работы которых намного сложнее условий работы деталей подвижного состава.

Традиционная система классификации включает следующие виды изнашивания деталей /4/:

- 1 Износ схватыванием первого рода.
- 2 Окислительный износ.
- 3 Тепловой износ (износ схватыванием второго рода).
- 4 Абразивный износ.
- 5 Осповидный износ.

К первому виду относится износ, выражающийся в классической деформации поверхностных слоев: возникновение местных металлических связей (узлов схватывания), разрушение этих узлов с отделением частиц или налипанием их на поверхность трения.

Окислительный износ характеризуется адсорбцией кислорода в поверхностных слоях, образованием окисных пленок и других химических соединений и отделением их с поверхностями трения.

Тепловой износ (схватывание второго рода) характерен тем, что при трении скольжения зона трения, вследствие деформации, а также резкого изменения свойств смазки, нагревается до температуры размягчения металла. Далее происходит разрушение металлических связей с размазыванием и переносом частиц.

Абразивный износ связан с попаданием на изнашиваемые поверхности твердых частиц (абразивной среды) и резанием (царапаньем) поверхности деталей этими частицами со снятием стружки.

При осповидном износе, имеющем место при трении качения, происходит пластическая деформация поверхности и наклеп, приводящие к появлению внутренних напряжений и возникновению усталости металла. Образуются трещины, единичные и групповые выкрашивания (питтинги). Преобладающим становится процесс усталости металла.

В настоящее время ГОСТ 23.002-78 устанавливает 13 разновидностей изнашивания /7/. Студент должен ознакомиться с классификацией видов износа по литературным источникам.

При эксплуатации машин и оборудования встречаются самые разнообразные случаи разрушения их деталей. Чтобы спроектировать и изготовить детали и узлы машин, необходимо хорошо представлять основные разновидности разрушения материалов при их взаимодействии с твердыми, жидкими и газообразными телами. Наблюдения за износом и повреждениями деталей машин в эксплуатации позволяют выделить пять основных видов разрушения материалов деталей, которые имеют свои подвиды (табл. 1).

Поскольку чистого одного вида изнашивания в работе деталей не бывает, а присутствуют несколько видов воздействия, необходимо выделить основной вид, который в наибольшей мере влияет на интенсивность процесса изнашивания. При этом нельзя упускать и другие виды воздействия.

Полученными при изучении классификации видов изнашивания знаниями студент будет пользоваться на последующих практических занятиях, проводя анализ изношенных и разрушенных деталей подвижного состава и верхнего строения пути.

Таблица 1

Примеры нарушения нормальной работоспособности деталей машин /12/

Виды разрушения материала	Наименование деталей машин, подвергающихся разрушению	Характер повреждений	Причины разрушений
1	2	3	4
Остаточная деформация	Напряженные болты, конструкции, сосуды, подшипники скольжения, ручки поршней ДВС	Изменение геометрической формы детали (удлинение, изгиб, вмятины, осадка, выдавливание)	Длительное действие переменных контактных растягивающих или сжимающих напряжений, повышение температуры металла
Вязкий излом	Связи и анкерные болты, несущие элементы мостовых ферм и других пространственных конструкций, напряженные болты	Окончательное разрушение, сопровождающееся значительной макропластической деформацией, поверхность излома имеет кристаллический блеск (матовая), на площадке разрушения имеются сколы, строчечные неровности, волокнистость	Значительные перегрузки вследствие резкого нарушения нормальных условий эксплуатации, уменьшающих рабочее сечение детали
Хрупкий излом	Сварные соединения, фасонные детали, болты, а также валики и пальцы, имеющие высокую твердость, чугунные отливки	Окончательное разрушение при незначительной макропластической деформации (относительное сужение гладких образцов – менее 5 %). Поверхность излома перпендикулярна направлению максимальных растягивающих напряжений и имеет кристаллическое строение, часто с рубцами, лучеобразно расходящимися из зоны начала разрушения	Наличие значительных ударных нагрузок, дефекты термообработки, низкое качество материала, повышенное содержание фосфора, водорода, наличие концентраторов напряжений (трещин)

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Истирание металлических пар	Подшипники скольжения, валы, оси, кулисы, цепные передачи, поршневые кольца, втулки и др. детали	Постепенное изменение геометрических размеров детали	Длительное трение сопряженных поверхностей
Контактная усталость	Зубчатые передачи, подшипники качения	Возникновение на контактных поверхностях мелких осповидных выщербин, резкое ухудшение качества поверхности, нарушающее нормальную работу деталей	Пониженная контактная прочность материала, высокие контактные напряжения
Абразивный износ	Плужные лемеха, лапы культиваторов, детали почвообрабатывающих и землеройных машин, детали гусениц тракторов, открытые зубчатые передачи, детали машин, истираемые минеральными частицами	Постепенное изменение геометрических размеров до сквозного истирания. На поверхностях трения наблюдаются характерные риски, направление которых соответствует направлению движения абразивных частиц	Недостаточное сопротивление материала истирающему действию абразивных частиц

1	2	3	4
Газовая эрозия	Трубы экономайзеров, кипятильные трубы паровых котлов, лопатки дымососов	Постепенное истирание поверхности твердыми частицами газового потока. На изнашиваемых поверхностях образуются риски, направленные вдоль газового потока, волны, направленные перпендикулярно движению газового потока, или беспорядочно расположенные бугорки и впадины	Недостаточное сопротивление материала коррозионному действию среды и пластическому деформированию поверхностных слоев
Схватывание	Шестерни зубчатых передач, подшипники скольжения	Вырывание частиц металла из контактирующих поверхностей	Пониженная вязкость масла и выдавливание масляной пленки при высоких скоростях и больших удельных давлениях
Ползучесть	Напряженные болты, трубы паропроводов, пароперегревателей котлов	Медленная и непрерывная пластическая деформация	Нагрев выше температуры рекристаллизации, напряжения в материале выше предела упругости при данной температуре
Газовая коррозия	Детали котельных топок, клапаны ДВС, заготовки перед ковкой или термической обработкой, электрические нагревательные элементы	Образование на поверхности детали плотного, весьма хрупкого слоя окислов металлов	Высокая температура нагрева и низкая окалиностойкость материала

1	2	3	4
Коррозионная усталость	Оси и штоки насосов, металлические канаты, ресоры и другие детали, испытывающие знакопеременные нагрузки в коррозионных средах; детали автомобилей и тракторов, подверженные действию выхлопных газов	Поверхность коррозионно-усталостного излома резко отличается от типичного усталостного, так как она подвержена действию коррозии и покрыта слоем ее продуктов	Совместное действие переменных напряжений и коррозионно-активной среды
Коррозионное растрескивание	Напряженные детали, находящиеся под действием концентрированных щелочных растворов, сосуды из нержавеющей стали, детали, изготовленные из латуни, дюралюмина, магниевых сплавов	Появление сетки трещин по границам зерен, с резким снижением прочности материала	Избирательное коррозионное разрушение границ зерен или одного из компонентов сплава под влиянием коррозионной среды и механических напряжений
Коррозия при трении	Болтовые и заклепочные соединения, посадочные поверхности подшипников качения, шестерен, муфт, детали, находящиеся в подвижном контакте	Возникновение на контактных поверхностях особенно по границе контакта, коррозионных повреждений в виде отдельных пятен или полос небольшой глубины	Непрерывное разрушение защитной окисной пленки в точках подвижного контакта

1	2	3	4
Жидкостная эрозия	Запорные и регулирующие элементы аппаратуры трубопроводов, рабочие органы питательных насосов	Характер изношенной поверхности определяется условиями воздействия потока жидкости. Разрушение имеет вид пятен, полос, рубцов, зубчатых раковин, пустот, вымоин, кратеров	Низкая коррозионная стойкость металла, высокие скорости потока, низкий предел текучести
Кавитация	Детали машин, подвергающиеся водяному охлаждению, трубопроводы	Появление на поверхности металла мелких, но глубоких питтингов, которые местами сливаются и образуют сквозное отверстие	Специфическое воздействие жидкости при высоких скоростях движения детали
Атмосферная коррозия	Кабины и кузова, детали машин, подвергающиеся действию атмосферных осадков и влажного воздуха	Образование рыхлых пленок окислов железа, с последующим шелушением и возникновением очагов точечной коррозии	Неудовлетворительное нанесение защитных покрытий, плохой уход за машиной
Коррозия в электролитах	Котельные установки, экономайзеры, сосуды химводоочистки, сосуды с жидкими удобрениями	Коррозионные питтинги, рассеянные по всей поверхности деталей, местная коррозия вблизи соединений листов и рамных конструкций	Развитие электрохимических процессов в результате неоднородности материала при наличии свободного доступа кислорода

Лабораторная работа № 3

ПРИЧИНЫ ОТКАЗА ДЕТАЛЕЙ ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Детальями экипажной части подвижного состава являются оси, колеса, бандажи, буксы, рессоры, ударно-сцепное оборудование, тележки и рамы.

Чаще всего в колёсных парах возникает:

- излом оси по шейке или в подступичной части;
- прокат и отколы цельнокатаных колес вагонов и бандажей локомотивов;
- тормозные дефекты на поверхностях катания колес и бандажей;
- выход из строя буксовых подшипников (колец и роликов).

У тележек вагонов разрушаются рессоры (листовые и пружинные), а также изнашиваются пяты и подпятники тележек и рамы. В боковинах тележек и в надрессорных балках возникают трещины.

Значительным воздействием подвергаются тормозные колодки и детали ударно-сцепных аппаратов.

Рассмотрим виды и причины разрушения перечисленных выше деталей.

Колесные пары испытывают значительные воздействия от нагрузки на ось динамических воздействий при движении подвижного состава и действия тормозных колодок. Локомотивные бандажи передают тяговое усилие и подвергаются большим нагрузкам в месте контакта бандажа с рельсами.

Переменные изгибающие нагрузки на ось способствуют возникновению усталостных трещин в местах резких переходов сечения оси. Для повышения предела выносливости вся ось подвергается накатке, которая приводит к возникновению в ее поверхностном слое остаточных напряжений сжатия. Однако в случае образования на поверхности оси забоин, рисок или неоднородности структуры в этих местах возникают усталостные трещины, приводящие к излому.

На поверхности катания колеса или бандажа, наряду с прокатом и подрезом гребня, возникают ползуны при заклинивании колесной пары и наволакивание металла при торможении тормозной колодки о поверхность катания. Эти повреждения тоже могут способствовать образованию трещин усталостного типа. Имеется немало примеров, когда очагом трещины усталостного типа явилось место нанесения клейма на торцевой поверхности бандажа локомотива. В отдельных случаях наблюдается ослабление натяга бандажа на колесном центре из-за нарушения допусков при обработке колесного центра и бандажа.

Появление трещин усталостного типа на поверхности катания или торцевой поверхности колеса (бандажа) может привести к образованию поперечной трещины в колесе или бандаже.

Нагрузка на ось подвижного состава передается через буксовый узел: буксы и подшипники. В последние годы значительно возросла доля подшипников качения в буксах локомотивов и вагонов. Внедрение подшипников качения

улучшило условия работы узла и снизило потери на трение, но возросли требования к качеству уплотнения буксы. Нарушения условий смазки приводит к повреждению роликовых подшипников. Основной вид повреждения – контактно-усталостные. В результате на дорожках колец подшипников появляются мелкие выкрашивания (питтинги), приводящие к выходу подшипника из строя. Кроме питтингов, характерным повреждением подшипников качения является образование трещин усталостного типа, образующихся в углах окон латунных сепараторов /2/.

Буксы с подшипниками скольжения, которые пока еще имеются у вагонов, тоже требуют контроля смазки, которая из ванны буксы подводится к шейке с помощью польстера. При нарушении смазки происходит перегрев буксового подшипника с выплавлением баббитовой заливки, после чего шейка оси начинает тереться о бронзовую армировку вкладыша. В результате медь интенсивно диффундирует по границам зерен вглубь шейки оси, нарушая связь между зернами стальной оси. Глубина диффундирования измеряется десятками миллиметров, после чего средняя часть оси разрушается скручиванием под действием значительных сил трения между бронзовой армировкой и шейкой вала, вызывающих интенсивный разогрев шейки и вкладыша.

Примеры подобных разрушений шеек вагонных осей представлены в «Альбоме повреждений», а также образцами, имеющимися в лаборатории.

Усталостные трещины возникают также на поверхностях деталей рессорного подвешивания (листы, пружины). Для повышения усталостной прочности листы и пружины подвергают дробеструйному наклёпу.

В деталях тележек (боковинах, надрессорных балках) появляются трещины в местах наличия концентраторов напряжений (неоднородности структуры, забоины или резкие переходы). Такие дефекты появляются при нарушении технологии. Износ пяты и подпятника – явление нормальное и устраняется при ремонте наплавкой или наваркой пластин.

Детали ударно-сцепного аппарата (автосцепка, поглощающий аппарат и др.) также изнашиваются по поверхностям трения из-за значительных передаваемых нагрузок и больших взаимных перемещениях деталей в условиях сухого трения.

Виды повреждения таких деталей изучаются на образцах, изъятых из эксплуатации.

Рамы и кузова вагонов и локомотивов подвергаются воздействию окружающей среды (коррозии), вибрациям и воздействию нагрузок. Поэтому основными видами повреждений деталей кузова являются: остаточная деформация, коррозия и появление трещин в элементах конструкции.

Лабораторная работа № 4

ПРИЧИНЫ ОТКАЗА ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ

На локомотивах и вагонах имеется много оборудования, детали которых подвергаются большим динамическим нагрузкам: дизели тепловозов и холодильных секций вагонов, компрессоры, редукторы, электродвигатели, вентиляторы и т.п. Детали этих агрегатов выходят из строя по тем же причинам, что и детали экипажной части и верхнего строения пути:

1 Коленчатые валы дизелей и компрессоров, валы редукторов и двигателей изнашиваются и получают изломы из-за усталостных трещин.

2 Цилиндровые втулки, поршни и поршневые кольца в основном истираются по поверхностям трения, а кольца теряют упругость и ломаются.

3 Шатуны и шатунные болты обрываются под влиянием передаваемых усилий и появления на их поверхностях концентраторов напряжений.

4 Поверхности зубьев зубчатых колес, кулачков и роликов газораспределительных механизмов подвергаются контактно-усталостным повреждениям с выкрашиванием поверхностного слоя. Зубья шестеренчатых передач ломаются и т.д.

5 Подшипники качения выходят из строя в результате контактно-усталостных повреждений дорожек обойм, шариков и роликов. Повреждаются сепараторы подшипников. Иногда происходит раскол шариков и роликов, если в них присутствуют металлургические дефекты (окислы, плены и т.п.).

6 Клапаны дизелей подвергаются действию высоких температур и агрессивных газов, происходит обгарание кромок тарелок и посадочных мест клапанов. Штоки клапанов изнашиваются в результате трения о поверхность втулок. Клапанные пружины теряют упругость и ломаются.

7 Аналогичные повреждения возникают в деталях компрессоров локомотивов и рефрижераторных вагонов.

8 Кулачковые валы и ролики толкателей газораспределительного механизма разрушаются в результате появления на них питтингов под действием высоких контактных напряжений между роликом и поверхностью кулачка.

Однако основной причиной выхода большинства деталей действующих механизмов является износ трущихся поверхностей. Интенсивность изнашивания зависит от действующих усилий и от условий смазки деталей. В случае нарушения смазки происходит катастрофическое нарастание износа, образование узлов схватывания с отрывом частиц поверхностей. Попадание продуктов износа между трущимися поверхностями только усиливает процесс изнашивания и приводит к аварии.

В блоках, картерах дизелей и компрессоров, а также корпусах редукторов появляются трещины в местах залегания литейных дефектов. В сварных блоках и картерах трещины зарождаются в сварных швах или зонах термического влияния там, где имеются внутренние дефекты швов или не были устранены напряжения, возникшие при сварке.

Примеры повреждения деталей оборудования подвижного состава можно найти в «Альбоме» и проиллюстрировать на натуральных образцах.

Лабораторная работа № 5

МАКРО- МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Интенсивный износ трущихся поверхностей приводит к образованию трещин и изломов деталей. Причинами образования трещин являются очаги схватывания, задиры и т.п., а также неоднородности химического состава металла, неоднородности структуры, или другие подобные причины.

Неоднородности химического состава устанавливаются при определении ликвации серы, фосфора, углерода и других элементов. Сера и фосфор существенно влияют на механические свойства стали. Поэтому после внешнего осмотра поверхности изношенной детали или трещины (если деталь разрушилась) намечаются плоскости, по которым производится разрезка и исследование ликвации этих химических элементов. Полученные серные отпечатки, фотографии, выявляющие неравномерность распределения других элементов, или поверхность, подвергнутую глубокому травлению, осматривают, обращая внимание на незначительные ликвационные зоны и неоднородности кристаллического строения. Аномалии в строении металлов часто являются очагами зарождения трещин, которые приводят к отколам или к поперечным изломам. Эта связь и выявляется в результате макроструктурного анализа.

Интенсивность износа детали в значительной степени определяется микроструктурой детали. Нормальные условия эксплуатации мало изменяют структуру. Аварийная работа нарушает условия смазки, приводит к появлению очагов микронаклепа поверхностных слоев, узлов схватывания и задириков и т. п. Изменение условий работы вызывает нарушение температурного режима работы детали и всего механизма в целом. Повышенная температура способствует структурным изменениям и, как следствие, к существенному изменению свойств материала с последующим разрушением поверхности детали или ее изломом.

Микроструктурные исследования позволяют выявить места и степень изменения структуры, установить связь этих изменений с повреждениями поверхности или детали в целом. Все это должно отражаться в протоколе результатов анализа. Описание следует подкреплять микрофотографиями выявленных особенностей структуры, выполненными с различными увеличениями.

Особое внимание необходимо обратить на качество изготовления микрошлифов. Для изучения структуры изучаемой поверхности необходимо обеспечить сохранность кромки микрошлифа. Наилучшие результаты при этом дает применение струбицы, защищающей кромку от «завала». В противном случае получить достоверную информацию о структуре на изучаемой поверхности не удастся.

При исследовании микроструктуры необходимо обращать внимание на места пластической деформации и изменения структуры в результате местного перегрева.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ

Нередко долговечность механизма определяется долговечностью отдельных деталей или группы деталей, срок службы которых несоизмеримо меньше возможностей всего механизма. Возникает необходимость повысить износостойкость деталей, лимитирующих срок службы устройства в целом. В этом случае проводят исследование износа деталей с целью разработки методов повышения их износостойкости и повышения долговечности всего устройства.

Первый этап исследований начинается с изучения работы лимитирующих деталей, с привлечением возможно большего числа объектов исследования. Наблюдения за работой «подопытных» деталей желательно вести на механизмах при различных условиях испытаний и с различными нагрузками. Сведения о выходе из строя деталей нужно накапливать в течение определенного срока по единой методике. Накопление статистического материала об интенсивности износа в эксплуатации ведется на основании обмеров или взвешивания деталей. Параллельно с этим, детали, снятые в результате достижения предельных параметров или в результате катастрофического (аварийного) износа подвергаются исследованию по методике, изложенной в первой части.

Целью исследования демонтированных деталей является выявление ведущего вида износа. Дело в том, что износ как явление, многообразен. В работе отдельных деталей могут одновременно иметь место различные виды износа. Чистого механического, химического или абразивного износа не существует, в эксплуатации деталь подвергается влиянию многих факторов.

Составляющие смазки или среды, в которой работает механизм, могут воздействовать на поверхности взаимодействующих деталей, образуя химический фактор. Продукты износа, попадая между взаимодействующими деталями, превращаются в абразив и еще более интенсифицируют износ.

Поэтому целью первого этапа исследования является установление ведущего вида воздействия и определение интенсивности износа (последнее выявляется при обработке статистических данных, полученных в результате наблюдений за эксплуатацией механизмов в службе).

Второй этап базируется на результатах первоначальных исследований и заключается в моделировании ведущего вида износа на испытательных установках. В качестве установок для исследования износа могут использоваться как серийные машины, так и уникальные установки, и стенды, создаваемые для исследования износа узкого круга деталей. Главным фактором при исследовании является воспроизведение ведущего вида износа исследуемых деталей.

Другим фактором исследования является выбор методики оценки изнашиваемости деталей. Это может быть замер величин износа по изменению размеров детали, снятием профиля изношенной поверхности детали или определением изменения ее веса в процессе изнашивания. При этом главным является четкое отражение интенсивности износа в зависимости от изменяющихся факторов, которых может быть немало.

В некоторых случаях необходимо обеспечить совпадение удельных давлений, размеров контактных поверхностей и постоянство их в процессе исследования. Может потребоваться воспроизвести условия подачи смазки к трущимся поверхностям, участие абразивных частиц и степень их закрепления.

Окончательное решение о методах и условиях испытаний конкретных деталей (или образцов) принимается по воспроизводимости в процессе лабораторных исследований характера и интенсивности изнашивания. Необходимо соблюдение подобия результатов, полученных при лабораторных испытаниях, с результатами, полученными при проведении служебных наблюдений за работой исследуемых объектов.

При этом возможны некоторые отступления в проводимых испытаниях, так как лабораторная установка воспроизводит основной вид износа, усиливая его влияние на результат. В работе же реальных деталей могут присутствовать также другие виды износа, которые могут быть исключены полностью (или частично) в лабораторных исследованиях.

Третий этап. Определив характер и интенсивность изнашивания образцов на испытательных лабораторных установках, совпадающих с основными характеристиками изнашивания детали в эксплуатации, разрабатывается методика упрочнения поверхностей образцов и режимы их испытания для получения сопоставимых результатов.

Очень важным элементом является выбор метода упрочнения. Сюда могут входить:

- выбор новой марки стали (сплава) для изготовления детали;
- выбор нового метода обработки или совершенствования существующей технологии обработки;
- применение специальных методов упрочнения поверхности детали с целью создания защитных слоев и покрытий.

Упрочнение должно производиться для обеих контактирующих поверхностей, так как упрочнение одной из них может увеличить интенсивность изнашивания другой контактирующей детали. Упрочненные образцы должны быть испытаны в тех условиях, параметры которых были установлены в процессе отработки методики испытаний на лабораторной установке. По результатам обработки материалов исследования строятся графики интенсивности износа и выводятся математические зависимости на базе статистической обработки.

Четвертый этап. После окончательного выбора метода упрочнения образцов и получения результатов их исследований испытания переносят в эксплуатацию. Это – очень важный, но не всегда простой фактор, так как в первых, должны быть изготовлены новые детали на основе разработанной (вы-

бранной) упрочняющей технологии, а во-вторых, эти детали должны быть установлены на реальные механизмы (установки), эксплуатируемые на производстве в типичных условиях.

После проведения служебных испытаний, принимается решение либо о внедрении новой технологии упрочнения при изготовлении деталей для реальных установок (с соответствующими изменениями конструкторской документации), либо, если служебные испытания ставят под сомнение условия или методики лабораторных исследований, выбирается новое решение проблемы повышения износостойкости деталей, и проводятся все исследования вновь. Иными словами, проведенные исследования могли быть ошибочными, или не все условия взаимодействия контактирующих деталей были учтены. Возможно, не достаточно корректными были выводы из результатов предварительных наблюдений за работой «подопытных» деталей и узлов. В результате чего был неверно смоделирован процесс на лабораторной установке (стенде) и, следовательно, получены неверные результаты.

Поэтому исследование изнашивающихся деталей должно проводиться без спешки, с тщательной проверкой методик испытаний как реальных деталей, так и лабораторных образцов.

Преподаватель демонстрирует детали, вышедшие из службы, и на их примере иллюстрирует внешний вид деталей и изломов, характер поверхности для каждого вида изнашивания.

По внешнему виду поверхностей оценивается ведущий вид изнашивания, на деталях с изломом – выявляется место возникновения трещины и другие особенности строения.

После ознакомления с типичными повреждениями деталей студенту предлагается деталь, изъятая из службы, по которой он должен составить письменное описание. В экспертизе указывается метод исследования, описание детали и ее повреждений, возможные причины появления повреждений. Должны быть сделаны выводы о ведущем виде износа и возможных сопутствующих видах износа.

Проверка и оценка письменного заключения дают возможность преподавателю оценить степень усвоения студентом изученной дисциплины и возможность использования полученных знаний на практике.

Лабораторная работа № 7

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗНАШИВАНИЯ

При проведении испытаний на испытательных установках оценка характеристик износа выполняется следующими методами.

Весовой метод оценки износа применяется при небольших размерах деталей и образцов, взвешиваемых до и после изнашивания. Детали предварительно тщательно промывают и просушивают. Взвешивание производят на весах. Погрешность взвешивания зависит от максимального веса образца.

Тип весов	Максимальный вес образца, г	Погрешность, г
Аналитические	200	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
Приборные	0,5	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$
Образцовые	5000	$\pm 0,1$
Технические	1000	$\pm 0,25$

Недостатки метода: оценивается только общая потеря веса; невозможно оценить местный износ; не оценивается износ, вызванный пластической деформацией, метод не применим для оценки износа пористых материалов, впитывающих смазку.

Метод микрометрических измерений применяется для оценки износа обмером деталей до и после изнашивания. Для этих целей используют следующие приборы:

1 *Концевые меры длины* от 0,991 до 1000 мм, точность 0,001 мм, применяют при тарировке и проверке других измерительных приборов.

2 *Микрометры* 0...25 мм, 25...50 мм и т. д., *штихмасы*, цена деления 0,01 мм, применяют при обмере деталей и образцов.

3 *Рычажные скобы, нутромеры* с ценой деления 0,001 мм (миниметры), точность измерения 0,1...0,3 мкм.

4 *Рычажно-винтовые индикаторы* с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений 0,7 мм.

5 *Рычажно-пружинные микрометры* с ценой деления 1 и 0,1 мкм, практически не имеют износа и долго сохраняют точность.

6 *Рычажно-зубчатые, зубчатые механизмы* (часовые индикаторные головки, миллимессы) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0...10 мм.

7 *Оптические и рычажно-оптические (оптиметры)* с пределом измерения $\pm 0,1$ мм.

Для того чтобы не вносить в процессе измерения (до и после) температурную погрешность, данные приборы требуют соблюдения постоянства температуры.

Недостатки метода: трудно зафиксировать место замера до изнашивания и после (обычно применяют шаблоны и приспособления); необходимо соблюдать постоянство температурного режима в процессе измерения; невозможно контролировать изменение размеров в процессе испытания.

Оценка износа профилографированием позволяет проследить изменение конфигурации поверхности детали в процессе изнашивания методом снятия профиля до, и после испытания.

Типы профилографов:

1 *ИЗП-5* (с вертикальным увеличением в 16000 раз и наибольшей длиной 7 мм).

2 *Калибратор ВЭН* (с вертикальным увеличением в 120000 раз и длиной замера 5 мм).

3 МММ-1 (с вертикальным увеличением в 400 - 4000 раз и длиной замера 20 мм).

Радиус закругления иглы 1,5 мкм.

На рис. 7 представлена схема профилометра с преобразованием механического перемещения иглы в электрические параметры с помощью измерительного моста, а на рис. 8 проведены два варианта датчиков сопротивления, наклеиваемых на упругую измерительную пластину с иглой.

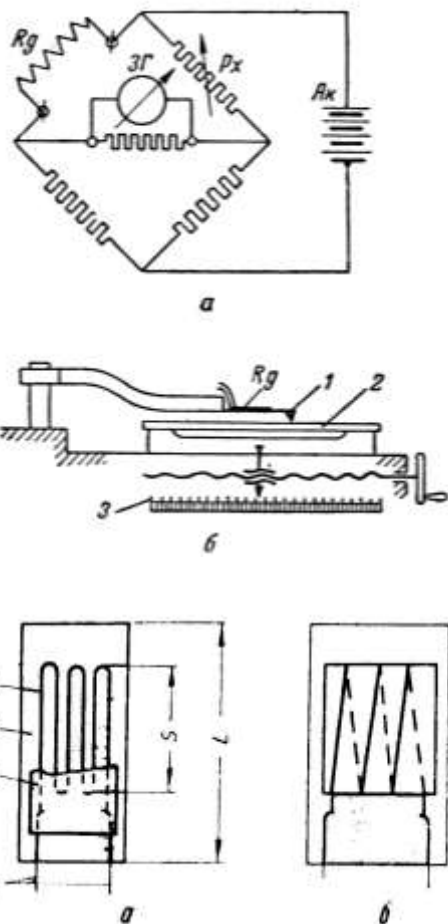


Рис. 7. Схема профилометра для оценки изменения в процессе изнашивания формы поверхности детали с помощью тензодатчиков сопротивления

Рис. 8. Типы тензодатчиков:
а – проволочный петлевой;
б – проволочный витковый

Профилометры легко оборудовать записывающим устройством, при этом он превращается в профилограф.

Недостатки метода: практически невозможно повторно снять профилограмму в одном и том же месте (сечении); игла на обследуемой поверхности оставляет след (завалы); при отсутствии режима записи процесс снятия профилограммы достаточно трудоёмкий.

Оценка износа методом искусственных баз позволяет определить степень износа по длине углублений (лунок), наносимых на изнашиваемую поверхность с помощью режущего инструмента продолговатой формы. В процессе изнашивания поверхности изменяется длина лунок. Пользуясь методами геометрии, можно по изменению длины отпечатка оценивать износ по глубине.

Метод обеспечивает высокую точность измерения, и результаты могут быть получены за небольшой промежуток времени.

Недостаток метода: незначительное искажение краев лунок вследствие пластической деформации при их нанесении на поверхность детали.

Большой интерес представляет непрерывная оценка величины износа в процессе испытаний (без остановки машины). Для этого создано ряд методов.

Определение износа по содержанию продуктов изнашивания в отработанном масле:

- отбор проб масла и их анализ весовым или калориметрическим способом;
- полярографический анализ масла, циркулирующего в системе;
- спектрографический анализ масла и др.

Недостаток метода: анализ по наличию продуктов износа в масле дает среднее значение износа пары, нелегко оценивать и интенсивность износа в процессе испытания.

Определение износа с помощью радиоактивных изотопов

При этом методе в исследуемые детали вводятся радиоактивные изотопы при отливке, облучении, электролитическом нанесении покрытия, активированной диффузией или методом вставок в трущиеся поверхности. Продукты износа обнаруживаются в смазке с помощью счетчика Гейгера-Миллера.

Преимущества метода: высокая чувствительность (до 10^{-8} г); возможность непрерывной оценки износа в процессе испытания; достаточно низкая стоимость; отсутствие зависимости от температуры и других факторов.

Недостатки метода: сложность подбора изотопов для некоторых металлов и ограничения по технике безопасности и экологии.

Определение износа с помощью индикатора часового типа, установленного на суппорте и фиксирующего изменения размеров в процессе испытания. На рис. 9, 10 представлены схемы таких измерений при вращательном и поступательном перемещении деталей.

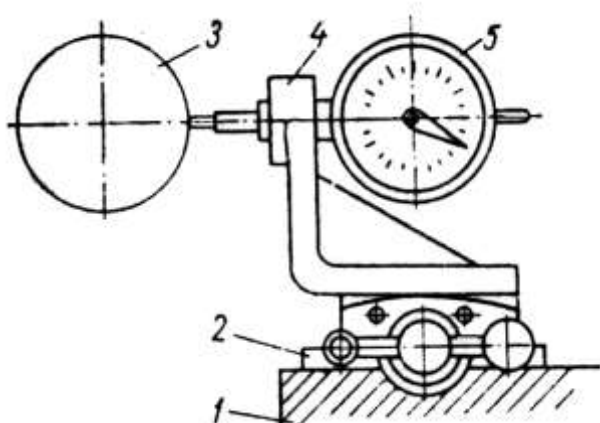


Рис. 9. Схема приспособления для определения износа круглых образцов:

- 1 – плита;
- 2 – суппорт;
- 3 – образец;
- 4 – кронштейн;
- 5 – измерительная головка

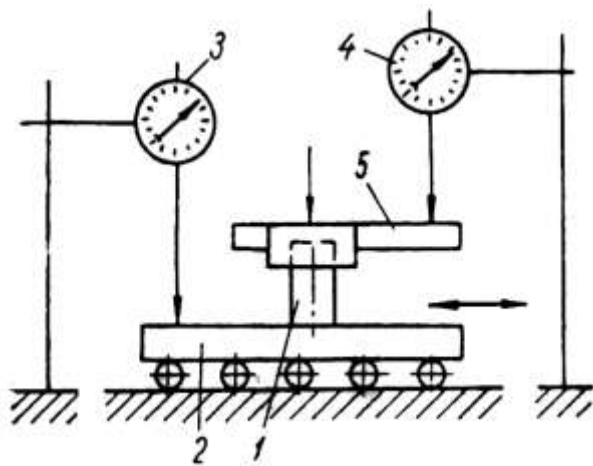


Рис. 10. Схема измерения износа образцов при возвратно-поступательном перемещении:

- 1 – цилиндрический образец;
- 2 – планка;
- 3, 4 – индикаторы;
- 5 – обойма

Этот способ предусматривает наличие на образцах контрольных поверхностей не испытывающих воздействия других деталей, по которым производят проверку показаний индикаторной головки.

Определение износа с помощью пневматического микрометра Солекса позволяет оценивать износ по изменению давления в измерительной камере без контакта с изнашиваемой поверхностью и дает возможность непрерывно записывать эти величины с помощью самописцев.

Преимущества метода: высокая чувствительность и отсутствие воздействия на поверхности трения.

Недостатки метода: устройство громоздко, с большим количеством вспомогательных элементов (компрессор, регулятор давления, трубопроводы и т. п.); поверхность в зоне замера должна быть абсолютно сухая; возможна ошибка из-за отсутствия температурной компенсации; необходимо проводить тарировку при каждой смене образцов.

Метод определения величины износа с помощью мездоз-преобразователей механических параметров в электрические (рис. 11). Сочетание двух сообщающихся сосудов, заполненных ртутью, позволяет значительно повысить чувствительность метода за счет разности диаметров сосудов. Небольшое перемещение *диафрагмы 1* большого сосуда вследствие износа образца *2* приводит к значительному изменению уровня ртути в трубке малого диаметра и сопротивления константановой проволоки *3*. Изменение сопротивления может фиксироваться измерительным прибором или самописцем.

Преимущества метода: высокая чувствительность ($\pm 0,2$ мкм) и возможность ведения непрерывного измерения износа с записью.

Недостаток метода: чувствительность к изменению температуры.

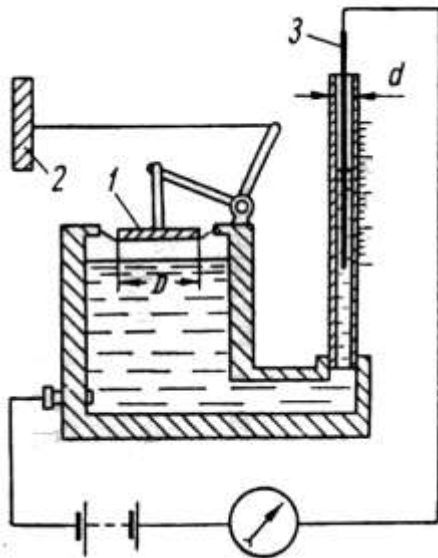


Рис. 11. Схема определения износа с помощью мездозы:

- 1 – диафрагма;
- 2 – образец;
- 3 – константановая проволока

Определение износа с помощью индуктивных датчиков, преобразующих механические показания в электрические параметры. Схема подобных измерений представлена на рис. 12.

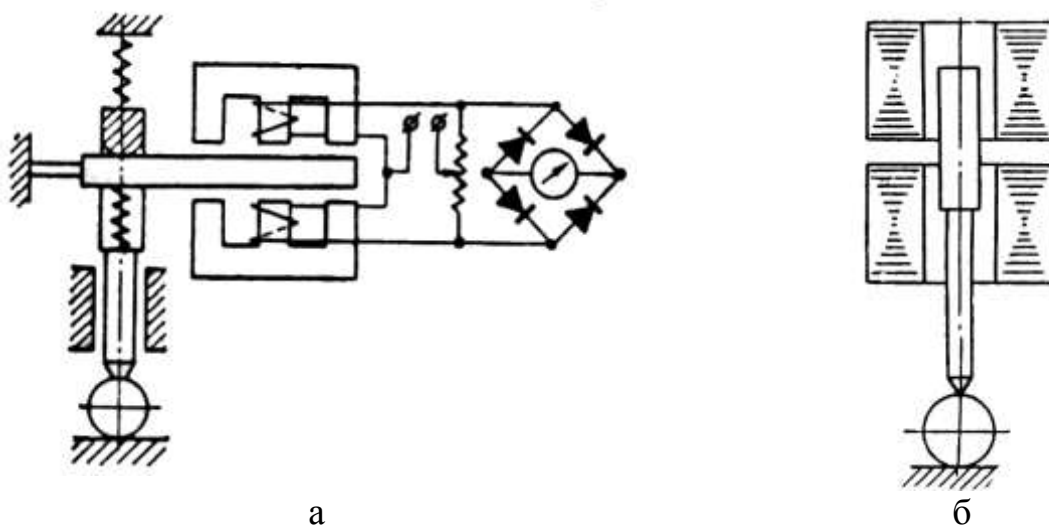


Рис. 12. Схема оценки износа с помощью индуктивных датчиков

Индуктивные датчики включены в плечи электрического моста переменного тока, питаемого, как правило, током с частотой 50 Гц.

Преимущества метода: высокая чувствительность и точность; возможность дистанционного управления замерами; невысокая стоимость.

Недостатки метода: сложность электрических схем; влияние снижения частоты тока на результаты измерения; зависимость от внешних электромагнитных полей.

Определение износа с помощью тензометров (датчиков сопротивления), подобных тем, которые использовались при снятии профилограмм. В качестве датчиков используются упругие пластины с наклеенными на них тензометрами,

включенными в мостовую схему. На рис. 13 изображена схема такого устройства (а) и вариант конструкции датчика (б).

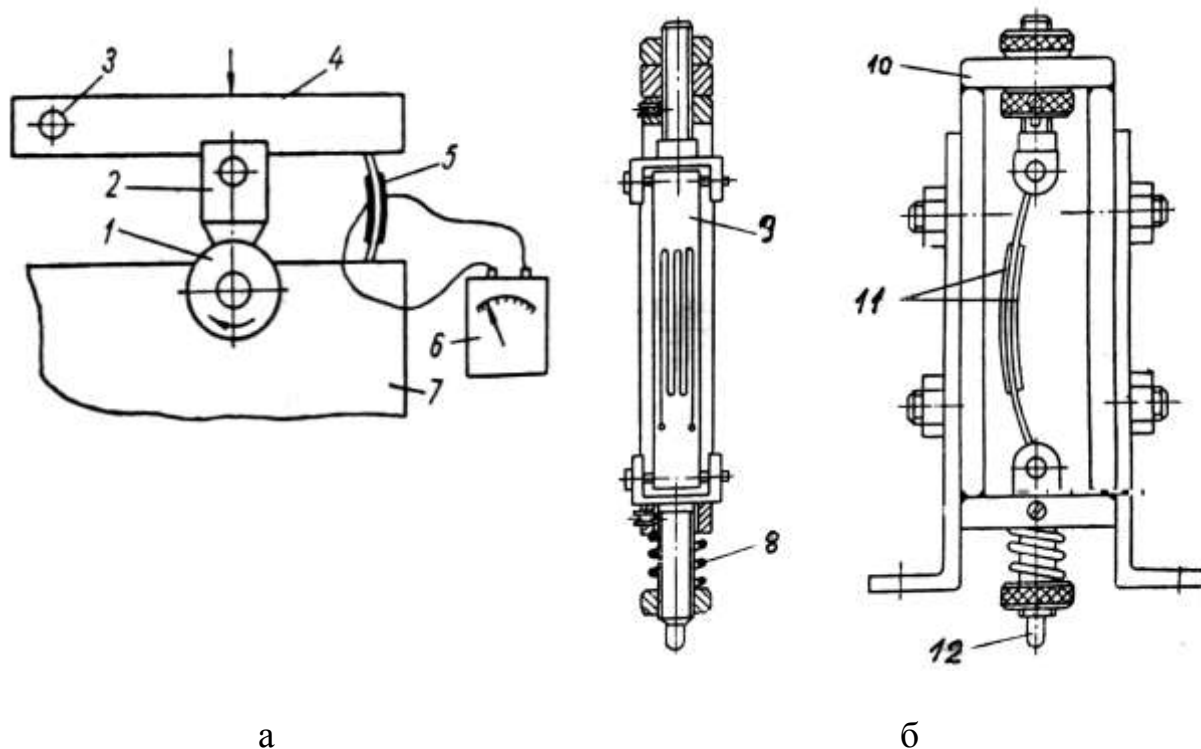


Рис. 13. Схема определения величины износа с помощью тензодатчиков:
 1, 2 – изнашивающиеся образцы; 3 – шарнир; 4 – каретка;
 5 – тензобалка; 6 – гальванометр; 7 – станина; 8 – пружина;
 9 – упругая балочка; 10 – корпус; 11 – тензометр; 12 – щуп

Преимущества метода те же, что и при использовании индуктивных датчиков, но они не подвержены влиянию частоты тока и внешних магнитных полей, т.к. работают на постоянном токе.

Недостатки аналогичны предыдущему способу, но дополнительными недостатками следует считать влияние температуры на сопротивление тензометра.

Перечисленные способы оценки величины износа не исчерпывают все применяемые в настоящее время способы и методы. В основном совершенствование состоит в увеличении числа одновременно регистрируемых параметров, повышении чувствительности и точности замеров и компенсации погрешностей от внешних влияний.

Лабораторная работа № 8

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ

Возникновение на изношенных поверхностях пластической деформации, вызванной местными нагрузками (образованием узлов схватывания с последующим разрушением этих мест, контактно-усталостных повреждений поверхности и т.д.), приводит к изменению механических свойств поврежденных поверхностей. Такие изменения свойств проще всего установить измерением твердости как на поверхности, так и распределением твердости от поверхности контакта вглубь детали.

Для этих исследований из детали готовят образец с разрезом, перпендикулярным плоскости контакта. Поверхность разреза шлифуют и проводят измерение твердости через равные расстояния от поверхности. Лучше всего для таких испытаний использовать твердомер Виккерса. Для перемещения образца используют препаратоводитель, позволяющий перемещать образец в процессе испытаний на определенные строго контролируемые отрезки.

Оценка твердости структурных составляющих и отдельных включений проводится с помощью приборов для определения микротвердости типа ПМТ-3. Предметный столик твердомера позволяет перемещать образцы в процессе измерения на строго контролируемые расстояния в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для этих испытаний приготавливают микрошлиф, на котором с помощью микроскопа прибора ПМТ-3 выбирают точки для измерения микротвердости.

Использование фотографической приставки к ПМТ-3 позволяет делать микрофотографии исследуемых образцов. Если фотографическая приставка отсутствует, фотографии поверхности образца со «строчкой» замера микротвердости выполняют на металлографическом микроскопе типа МИМ-6, МИМ-7 или МИМ-8. Такой метод усложняет поиск на поверхности микрошлифа отпечатков призмы твердомера ПМТ-3 и увеличивает время, затрачиваемое на исследование.

На выполненных микрофотографиях вписывают значения микротвердости, установленные в результате замеров. Изменения микротвердости должны связываться с изменениями структуры, наличием зон с микронаклепом или другими причинами, выявленными в процессе проведения исследования.

Библиографический список

- 1 **Аскинази, Б.М.** Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. – Л. : Машиностроение, 1968.
- 2 **Буше, Н.А.** Трение, износ и усталость в машинах: учеб. для вузов / Н.А. Буше. – М. : Транспортная техника, 1987.
- 3 **Войнов, Б.А.** Износостойкие сплавы и покрытия / Б.А. Войнов. – М. : Машиностроение, 1980.
- 4 **Гаркунов, Д.Н.** Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
- 5 **Костецкий, Б.И.** Классификация видов поверхностного разрушения и общая закономерность трения и изнашивания / Б.И. Костецкий. – Вестник машиностроения. – 1984. – № 11.
- 6 **Крагельский, И.В.** Трение и износ / И.В. Крагельский. – М. : Машгиз, 1962.
- 7 **Кислик, В.А.** Контактные повреждения и поперечные изломы рельсов тяжелого типа Р50. / В.А. Кислик, А.И. Кармазин, А.М. Самойленко // Труды РИИЖТа. Вып. 65. Повышение срока службы рельсов и колес. – М. : Транспорт, 1967.
- 8 **Кислик, В.А.** Методы изнашивания деталей топок паровозных котлов. / В.А. Кислик, А.М. Самойленко // Заводская лаборатория. – 1956. – № 5.
- 9 **Лазаренко, В.К.** Износостойкость металлов / В.К. Лазаренко, Г.А. Прейс. – М. – Киев : Машгиз, 1960.
- 10 **Основы трибологии. Трение, износ и смазка: учеб. для техн. вузов / под ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Центр «Наука и техника», 1995.**
- 11 **Слободянский, С.С.** Удлинение срока службы деталей судовых механизмов / С.С. Слободянский. – М. – Л. : Морской транспорт, 1953.
- 12 **Сорокин, Г.М.** Методы испытания на изнашивание при ударе / Г.М. Сорокин // Вестник машиностроения. – 1976. – № 4.
- 13 **Тененбаум, М.М.** Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум. – М. : Машиностроение. 1966.
- 14 **Ткачев, В.Н.** Методы повышения долговечности сельскохозяйственных машин. Эксперимент, практика, рекомендации / В.Н. Ткачев. – М. : Машиностроение, 1993.
- 15 **Хрущев, М.М.** Абразивное изнашивание / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев. – М. : Наука, 1970.
- 16 **Ясь, Д.С.** Испытания на трение и износ / Д.С. Ясь, В.Б. Подмоков, Н.С. Дяденко. – Киев : Техника, 1971.

Учебное издание

Кротов Владимир Николаевич
Кармазина Людмила Алексеевна

**ВИДЫ ИЗНАШИВАНИЯ И ПРИЧИНЫ ОТКАЗА
ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Н.С. Федорова

Подписано в печать 23.10.17. Формат 60×84/16
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,86.
Тираж экз. Изд. № 90470. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.