

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра материаловедения и технологии материалов

И.Ш. Тавтилов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС ИЗНАШИВАНИЯ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Основы
теории трения и изнашивания»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Оренбургский государственный
университет» в качестве методических указаний при подготовке студентов по
специальности 150205.65 Оборудование и технология повышения
износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов и направлению
подготовки 150700.62 Машиностроение по профилю «Оборудование и
технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и
аппаратов»

Оренбург
2012

УДК 620.178.162(07)

ББК34.41я7

T13

Рецензент – профессор, доктор технических наук И. Т. Ковриков

Тавтилов, И. Ш.

T13

Определение коэффициента трения и параметров, влияющих на процесс изнашивания: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Основы теории трения и изнашивания» / И. Ш. Тавтилов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 14 с.

Износ и повреждение поверхностей снижают сопротивление усталости деталей и могут служить причиной их разрушения даже при незначительных концентраторах напряжений и весьма низких номинальных напряжениях. Повышенный износ нарушает нормальное взаимодействие деталей в узлах трения, может вызвать значительные дополнительные нагрузки, удары в сопряжениях и вибрации, стать причиной внезапных разрушений. Поэтому важнейшая проблема современной науки о трении – изыскание эффективных методов повышения износостойкости и снижения энергоемкости подвижных сопряжений.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по курсу «Основы теории трения и изнашивания» при подготовке студентов по специальности 150205.65 Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов и направлению подготовки 150700.62 Машиностроение по профилю «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов».

УДК 620.178.162(07)

ББК34.41я7

©Тавтилов И. Ш., 2012

© ОГУ, 2012

1 Цель работы

1.1 Получение практических навыков определения фрикционно-износных характеристик процесса трения.

1.2 Изучение механизма трения и изнашивания.

2 Общие сведения

Износ является наиболее распространенным дефектом в современных машинах, явление это весьма опасно. В современной науке разрабатывается отдельное направление, в котором ученые занимаются исследованием вопросов износа – трибология. Последнее время вопросам трибологии уделяется всё большее внимание в силу того, что износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения является основной причиной выхода из строя механизмов и машин. Последние десятилетия характеризуются усилением внимания всех промышленно развитых стран к проблемам трения и изнашивания, вредные последствия которых весьма убыточны. Эти проблемы связаны, прежде всего, с потерями материалов при изнашивании и выходом оборудования из строя, образованием экологически вредных продуктов изнашивания, а также большими энергопотерями. Поэтому важнейшая проблема современной науки о трении – изыскание эффективных методов повышения износостойкости и снижения энергоёмкости подвижных сопряжений. Постоянное развитие трибологии обусловлено в первую очередь запросами практики, а также многосложностью процесса трения. Возрастающие требования к изделиям в первую очередь отражаются на ужесточении условий работы узлов трения.

Трение твердых тел – это сложный комплекс взаимодействий, проявляющийся в механических, физико-химических, электрических и других

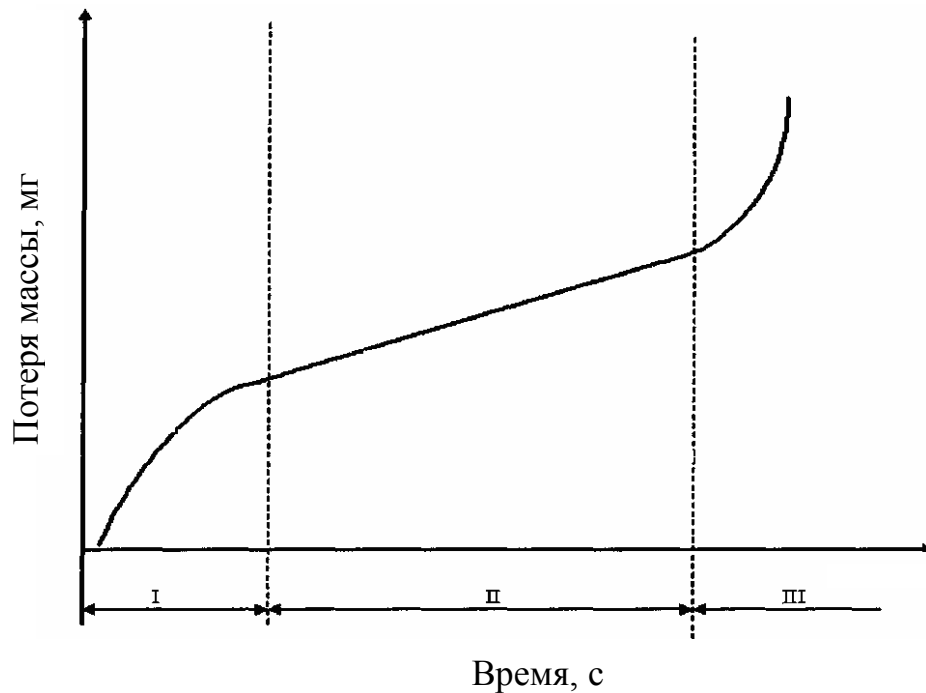
процессах. Соотношение видов взаимодействий может быть самым различным в зависимости от условий нагружения, свойств контактирующих материалов и среды. Трение имеет двойственную молекулярно-механическую природу, заключающуюся в преодолении адгезионной связи между контактирующими телами и объемным деформировании материала. Адгезия обусловлена силами сцепления, действующими между молекулами и атомами. Если тела достаточно упруги, то образовавшаяся под нагрузкой площадь касания разрушается при снятии нагрузки за счет энергии упругой деформации, и адгезию обнаружить не удастся. Поверхностный слой материала под совместным действием нормальной и тангенциальной сил значительно деформируется. В начальный момент касания поверхность твердых тел волнистая и шероховатая. Поэтому трение развивается в микрообъемах, которые возникают в зонах касания тел пары трения. Под влиянием нагрузки и температуры параметры волнистости и шероховатости изменяются.

Под влиянием сжимающей нагрузки две поверхности по мере сближения соприкасаются во все большем количестве точек. Сначала взаимодействующие элементы деформируются упруго, а затем, по мере возрастания нагрузки, упругая деформация сменяется пластической. Так протекает процесс приработки (рисунок 1), отражающий изменение массы образца во времени при испытании трибосопряжения на износ, что соответствует участку I.

Важным направлением современной трибологии является исследование структуры и строения поверхностных слоев металла при трении. Это обусловлено тем, что такие слои ответственны за износостойкость.

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях. Износостойкость может служить одним из основных критериев выбора материалов для изготовления узлов трения. Изнашивание проявляется в постепенном изменении размеров и (или) формы. Величина изнашивания определяется экспериментально. Многолетние

исследования позволили разработать методики и создать лабораторное оборудование для измерения изнашивания в различных условиях контактного взаимодействия.



I – процесс приработки; II – нормальный режим трения; III – процесс повреждаемости

Рисунок 1 – Схема зависимости износа образца от длительности трибонагружения

Одной из характеристик процесса трения и износа является коэффициент трения.

Изменение величины коэффициента трения от величины удельной нагрузки на узел трения можно представить в виде графика (рисунок 2), имеющего три характерных участка: ab – переходный, отражающий процесс приспособления поверхностей; bc – стационарный, соответствующий

нормальному режиму трения и характеризующийся устойчивым коэффициентом трения; cd – участок, характеризующий повреждаемость.

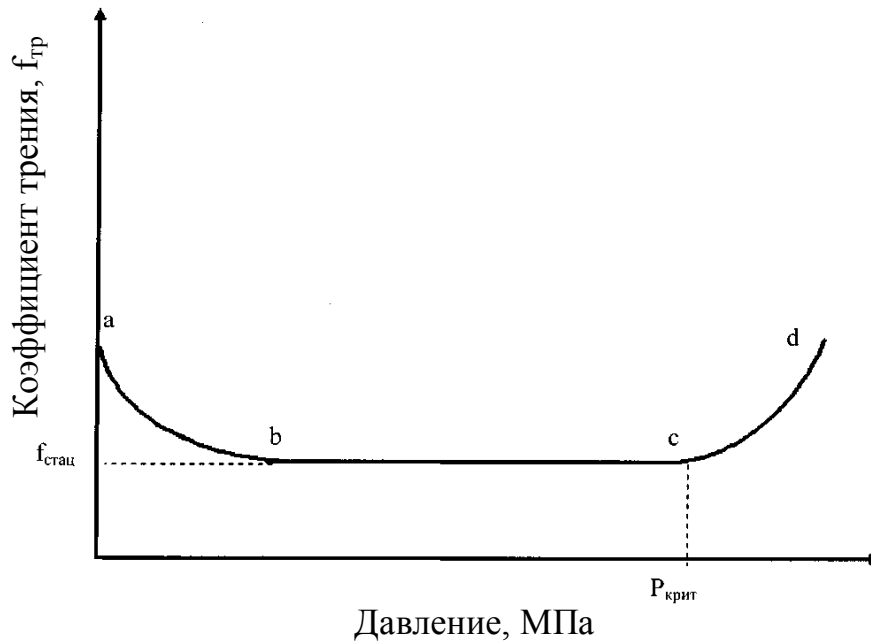


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от величины удельной нагрузки на узел трения

При разработке трибосопряжений необходимо обеспечить увеличение отрезка bc . Многочисленные экспериментальные и производственные данные показывают, что при одной и той же нормальной нагрузке сила трения может изменяться в широких пределах в зависимости от скорости, температуры и среды. Таким образом, необходимым условием решения задач, связанных с трением, является установление комплекса условий, при котором в зоне трения протекают вполне определенные процессы, обуславливающие те или иные виды взаимодействия контактирующих материалов и среды. Определение диапазона нормального износа имеет практическое значение для предотвращения катастрофического изнашивания материала. Нормальный износ характеризуется строго определенным состоянием поверхности трения, когда структурные

изменения, локализованные в поверхностных слоях, находятся в динамическом равновесии.

При нарушении динамического равновесия между разрушением и восстановлением пленок вторичных структур в контакте происходит существенное изменение характеристик более глубоких слоев, и равновесие более не восстанавливается, визуально наблюдается в виде борозд и рытвин. При этом наблюдаются характерные изменения силы трения и процесса изнашивания. Графически процесс повреждаемости изображен на рисунке 1 – участок III и на рисунке 2 – участок cd. Эти участки отражают конечный этап трения, предшествующий разрушению материала. Задачей исследователей является увеличение времени работы материала в стационарном режиме и установление момента перехода к последнему участку для своевременной замены детали и предотвращения повреждения смежных механизмов.

Таким образом, необходимым условием решения задач, связанных с трением, является установление комплекса условий, при котором в зоне трения протекают вполне определенные процессы, обуславливающие те или иные виды взаимодействия контактирующих материалов и среды. Определение диапазона нормального износа имеет практическое значение для предотвращения катастрофического изнашивания материала. Критериями, определяющими надежность работы узлов трения, является минимальная вероятность задира или минимальная интенсивность изнашивания, а также максимальная усталостная прочность. Общая картина усложняется тем, что при трении и изнашивании усталостные процессы носят более сложный характер, чем при обычных циклических нагрузках.

Данные о допустимых изменениях нагрузок, скоростей, условий среды, при которых имеет место нормальный износ деталей, являются основой для проектирования и оценки надежности узлов трения.

3 Проведение испытаний на трение и износ

Машины для испытания на трение и износ довольно разнообразны. Обычно они обеспечивают широкий диапазон варьирования рабочих режимов, так как испытания требуют учета большого количества факторов, влияющих на результаты. Для проведения испытаний подходят серийные машины трения МИ-1М типа «АМСЛЕР» и СМЦ-2. Испытание состоит в следующем. Образец трется по выбранной схеме трения о ролик вращающийся с постоянной частотой вращения 500 мин^{-1} (окружная скорость в зоне трения $1,31 \text{ м/с}$) при различных режимах нагружения с постоянной или увеличивающейся нагрузкой. Испытания проводят в условиях трения без смазочного материала и с ограниченным или нормальным смазыванием.

Показателями, по которым анализируют поведение материала, являются коэффициент трения и износ при данном сочетании скорости и нагрузки.

Физический износ рассматривается как один из факторов, который существенно влияет на сопротивление усталости образца. Измерение износа может производиться по изменению массы и размеров образцов. Величину массового износа материала оценивают взвешиванием образцов до и после испытаний на аналитических весах. Линейный износ определяется по изменению размера. Интенсивность износа определяется как отношение величины износа к пути трения.

Коэффициент трения рассчитывают по формуле

$$f_{mp} = \frac{M_{mp}}{r \cdot P}, \quad (1)$$

где M_{mp} – момент трения, Н·м;

r – радиус образца, м;

P – действующая нагрузка, Н.

Момент трения, возникающий при истирании образцов, определяют при помощи комплекта измерительного К505 переносного (рисунок 3), который предназначен для измерений силы тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных трехпроводных и четырехпроводных цепях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузках фаз.



Рисунок 3 – Комплект измерительный К505

Между мощностью и моментом существует зависимость

$$W = M_{mp} \cdot \omega, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость, рад/с.

Чтобы произвести измерение мощности необходимо:

- установить комплект в рабочее положение;
- установить стрелки приборов на нулевые отметки шкал корректорами;
- установить переключатель номинальных токов «В1» в положение «10А», переключатель работы комплекта с отдельным трансформатором тока и без него «В2»-в положение «БЕЗ Тр2», переключатель фаз «В3» — в положение «0», переключатель номинальных напряжений и полярности ваттметра «В4» — в положение «600V» к «+»;

- зажим заземления комплекта соедините с заземляющим устройством;
- включить комплект в схему для измерений (схема включения приведена в табличке, укрепленной на крышке комплекта), источник питания (генератор) — к группе зажимов «ГЕНЕРАТОР» и нагрузку — к группе зажимов «НАГРУЗКА» в соответствии с маркировкой зажимов фаз;

- установить перед измерениями комплектом переключатель фаз «В3» в положение фазы, в которой требуется произвести измерения;

- при малых отклонениях указателей приборов переключенном пределов измерений выбрать нужный предел;

- при измерениях мощности следует иметь ввиду, что при коэффициенте мощности, меньше единицы, может возникнуть недопустимая перегрузка ваттметра, даже при мощности, меньшей номинальной, поэтому при измерении важно следить за показаниями амперметра и вольтметра и не перегружать их.

Действительное значение измеряемого тока I в амперах; напряжения U в вольтах и мощности W в ваттах определите по формулам:

$$\begin{aligned}
 I &= C_a \cdot \alpha_a, \\
 U &= C_U \cdot \alpha_U, \\
 W &= C_W \cdot \alpha_W,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где C_a, C_U, C_W — цена деления амперметра, вольтметра и ваттметра соответственно (помещены на лицевой панели комплекта);

$\alpha_a, \alpha_U, \alpha_W$ — отсчет по шкале амперметра, вольтметра и ваттметра в делениях.

При трении под влиянием нагрузки и температуры значительно изменяются свойства материала. Проконтролировать изменение свойств на таком уровне можно при помощи замеров микротвердости. Наиболее широкое распространение получил метод, по которому за меру твердости принимается отношение действующей нагрузки (при выдержке 10 с) к площади поверхности отпечатка от алмазной пирамиды с квадратным основанием и углом между противоположными гранями 136° . Величина нагрузки выбирается в зависимости от вида испытуемого материала в пределах от 0,005 до 0,5 Н.

Приборы для испытания микротвердости вдавливанием либо выполняют в виде отдельных установок, в которых используют вертикальный микроскоп (например, прибор ПМТ-3 конструкции М. М. Хрущева и Е. С. Берковича), либо в виде приспособления к металлографическим микроскопам. Бесспорно, следует отдать предпочтение приборам первой группы.

С помощью окуляр-микрометра измеряют величину диагонали полученного микроотпечатка. Степенной закон (зависимость между силой и размером отпечатка) соблюдается и при испытаниях на микротвердость, но только при условии применения электролитического полирования или травления. Вообще при измерении микротвердости желательно производить электролитическое полирование (или травление).

Рассеяние результатов при измерении микротвердости вообще выше, чем при измерении макротвердости, так как роль случайных погрешностей при первом измерении относительно увеличивается.

4 Средства технического оснащения

При выполнении лабораторной работы используются:

- машина трения СМЦ-2;
- комплект образцов;
- весы аналитические ВЛКТ-3;
- прибор ПМТ-3.

5 Порядок выполнения работы

5.1 Взвесить представленные образцы, зафиксировав начальную массу.

5.2 Под руководством преподавателя установить образцы на машину трения.

5.3 Провести испытание на трение по следующим схемам.

5.3.1 В условиях трения без смазочного материала с возрастающей нагрузкой. Нагрузку увеличивать до значений, соответствующих началу нарушения динамического равновесия, когда начинается интенсивное разрушение поверхностных пленок. Зафиксировать это значение и время испытания. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к заеданию и характерным изменениям структуры нижележащих слоев.

5.3.2 В условиях трения без смазочного материала с постоянной нагрузкой равной половине нагрузки, при котором начинается разрушение, зафиксированной в 5.3.1 и том же времени испытания.

5.3.3 В условиях трения со смазочным материалом капельным методом: 5 капель через 3 минуты с возрастающей нагрузкой и продолжительностью зафиксированных в 5.3.1.

5.3.4 В условиях трения со смазочным материалом капельным методом 5 капель через 3 минуты с постоянной нагрузкой и продолжительностью, зафиксированной в 5.3.2.

5.3.5 В условиях трения со смазочным материалом (в ванне) с возрастающей нагрузкой и продолжительностью зафиксированных в 5.3.1.

5.3.6 В условиях трения со смазочным материалом (в ванне) с постоянной нагрузкой и продолжительностью зафиксированных в 5.3.2.

5.4 При испытаниях фиксировать время испытания и момент трения с интервалом в 1 мин.

5.6 По замерам момента трения оценить коэффициент трения.

5.7 После испытания взвесить образцы, предварительно промыв их, и оценить массовый износ.

5.8 Замерить микротвердость непосредственно вблизи зоны трения образцов и на расстоянии 10 мм от зоны трения.

6 Содержание отчета

6.1 Цель работы.

6.2 Основные причины выхода из строя механизмов и машин.

6.3 Дать определение терминам износ, трение, износостойкость.

6.4 Схемы машин для испытаний на трение и износ.

6.5 Сделать выводы:

а) о ходе и времени приработки;

б) о границах нормального трения;

в) о влиянии смазки на характер трения;

- г) о интенсивности изнашивания для всех вариантов трения;
- д) оценить изменение свойств по замерам микротвердости.

7 Контрольные вопросы

- 7.1 Как протекает процесс приработки?
- 7.2 Как зависит коэффициент трения от величины удельной нагрузки?
- 7.3 Что является необходимым условием решения задач, связанных с трением?
- 7.4 Как определяется коэффициент трения?

Список использованных источников

- 1 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). / А. В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
- 2 Гаркунов, Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). / Д. Н. Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 616с. – ISBN 5-94327-004-3.
- 3 Основы трибологии (трение, износ, смазка). / Э. Д. Браун [и др.]; под ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Центр «Наука и техника», 1995. – 778с. – ISBN 5-900359-10-7.
- 4 Справочник по триботехнике: в 3-х т. / под общ. ред. М. Хебды; А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989.
- 5 Крагельский, И. В. Основы расчётов на трение и износ. / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526с.