

## ЛЕКЦИЯ-5.

### ИЗНАШИВАНИЕ. ВИДЫ И МЕХАНИЗМ ИЗНАШИВАНИЕ

**Физический износ** транспортных средств есть результат постепенного или внезапного материального разрушения (истирания, поломок и других видов потерь физико-механических свойств) различных её элементов, в связи с чем машина перестает удовлетворять предъявляемых к ней требованиям. Физический износ может происходить при эксплуатации – физический износ первого вида и при бездействии – физический износ второго вида.

Количественно физический износ определяют в процентах, принимая за 0% износ новой детали и за 100% износ детали, идущей в металлолом и вообще не подлежащей дальнейшему использованию в машине данного назначения.

Экономический измеритель физического износа агрегата или машины подсчитывают по формуле:

$$\alpha_{\phi} = \frac{Q_P}{Q_B} 100 + \Delta$$

Где:

$\alpha_{\phi}$  – экономическая мера физического износа машины или агрегата в процентах от стоимости ее воспроизводства;

$Q_P$  – сметная стоимость ремонта машины или агрегата, руб.,

$Q_B$  – стоимость полного воспроизводства машины или агрегата на момент определения их физического износа с учетом обесценения в связи с появлением новых, более совершенных конструкций, руб.;

– относительная величина остаточного износа, устанавливаемая из опыта ремонта аналогичных машин или агрегатов, %.

**Моральным износом** называется уменьшение стоимости действующей техники под влиянием технического прогресса.

Появления новых, более производительных машин и снижение стоимости воспроизводства их прежних конструкций приводит к понижению стоимости машин, ранее изготовленных и находящихся уже в эксплуатации.

Различают две **формы морального износа** техники:

Моральный износ **первой формы** – утрата действующей стоимости по мере того, как машины такой же конструкции начинают воспроизводиться дешевле;

Моральный износ **второй формы** – обесценивание действующей техники вследствие появления более совершенных (более производительных) конструкций машин.

**Критерием морального износа** машины может служить коэффициент понижения её стоимости вследствие технического процесса, выражаемый формулой:

$$\alpha_m = \frac{Q - Q'}{Q}$$

Где:

$\alpha_m$  – критерий морального износа, выраженный в долях от первоначальной стоимости машины;

$Q$  – первоначальная стоимость с учетом обесценивания первоначальной стоимости вследствие появления более совершенных конструкций, а также из-за снижения стоимости воспроизводства аналогичных машин, руб.

**Общий износ** машины выражается так:

Где:  $\alpha$  – измеритель общего износа машины в долях от её первоначальной стоимости;

$\alpha_f$  – измеритель физического износа машины в долях от стоимости её воспроизводства;

$\alpha_m$  – измеритель морального износа машины в долях от её первоначальной стоимости.

Произведение величин  $(1 - \alpha_f)$   $(1 - \alpha_m)$  дает остаточную стоимость машины в долях от её первоначальной стоимости вследствие физического и морального износа машины.

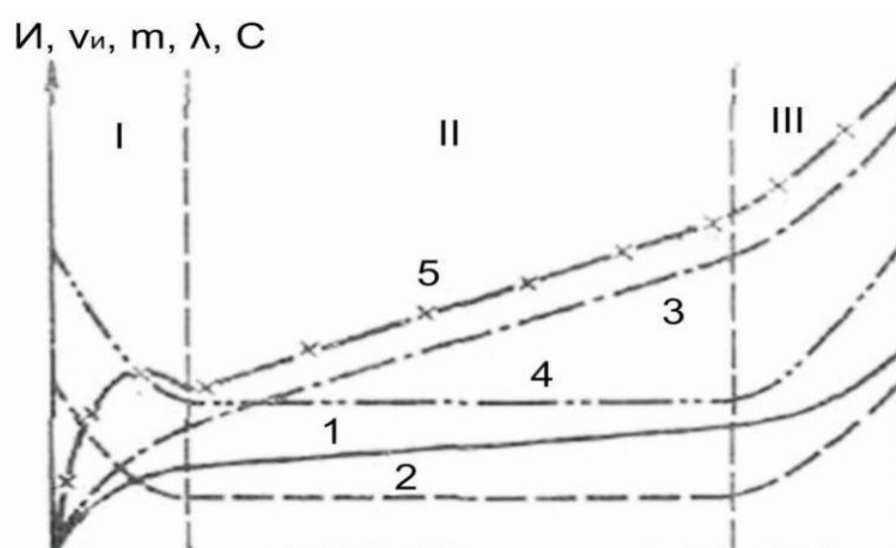
**Изнашивание** – процесс постепенного изменения размеров тела трения, проявляющийся в отделении с поверхности трения материала и (или) его остаточной деформации. Изнашивание может также сопровождаться коррозией.

Изнашивание оценивается скоростью изменения размеров детали в единицу времени, например мм/ч; его можно оценивать и другими единицами измерения: мм\км; мм/кг израсходованного топлива; мм/ мото-ч и т.д.

В процессе работы машины показатели изнашивания деталей и сопряжений не сохраняют постоянных значений. Изменения износа деталей во

времени в общем случае можно представить в виде модели, предложенной В.Ф. Лоренцом (рис.). В начальный период работы, называемый периодом приработки, наблюдается довольно быстрый износ деталей (участок I).

- Продолжительность этого периода обуславливается качеством поверхностей и режимом работы механизма и составляет обычно 1,5– 2% ресурса узла трения. После приработки наступает период установившегося режима изнашивания (участок II), определяющий долговечность сопряжений. Третий период – период катастрофического изнашивания (участок III) – характеризует предельное состояние механизма и ограничивает ресурс. Как видно из приведенных на рис. графиков, процесс изнашивания оказывает прямое, определяющее влияние на возникновение отказов и неисправностей узлов трения машин. Изменение показателей надежности во времени идентично изменению показателей изнашивания. Более высокая крутизна кривых  $m(T)$  и  $C(T)$  на участке II объясняется тем, что с наработкой возникают отказы, вызванные, помимо износа, усталостным, коррозионным разрушением или пластическими деформациями.



**Рис.1. Изменения параметров сопряжения в процессе работы:**

*1 – износа И; 2 – скорости \*\* изнашивания; 3 – частоты  $m$  отказов; 4 – интенсивности \* отказов; 5 – затрат С на поддержание работоспособности*

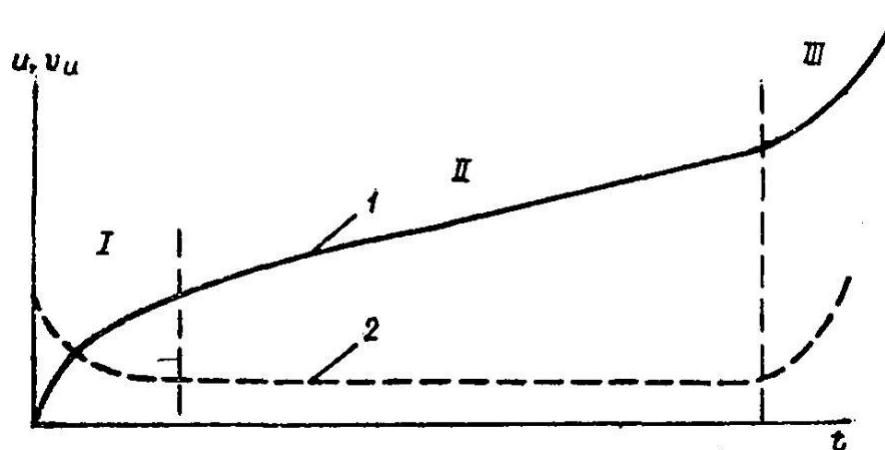
### **Основные виды изнашивания:**

Причины и механизм образования различных видов изнашивания представлены в табл.

Вид изнашивания	Причина и механизм образования	Примеры
-----------------	--------------------------------	---------

1	2	3
Абразивное	Механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Износ происходит в результате <i>микрорезания</i> ( $T$ металла $\ll T$ абразива) или <i>упруго-пластического деформирования</i> ( $T_m \ll 0,6 T_a$ )	Детали ходовой части: звенья гусениц, покрывки колес
Гидро(газо)абразивное	Абразивное изнашивание в результате действия твердых частиц, взвешенных в жидкости (газе) и перемещающихся относительно изнашиваемого тела	Плунжерные пары, выпускные клапаны
Гидро(газо)эрозионное	Механическое изнашивание в результате воздействия потока жидкости и (или) газа	Насосы
Кавитационное	Гидроэрозионное изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное повышение давления или температуры	Гурбины
Усталостное	Механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя (наклеп, трещина, отслоение)	Подшипники
При фреттинге	Механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях (0,025 мм, 30 Гц)	Шлицы, шпоночные пазы, посадочные поверхности
При заедании (адгезионное)	Изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникающих неровностей на сопряженную поверхность	Втулка колеса
Окислительное	Коррозионно-механическое изнашивание, при котором основное влияние на изнашивание имеет химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой	Шарнирно-болтовые соединения
Водородное	Повреждение поверхностей при трении в результате выделения водорода из окружающей среды или из компонентов пар трения и его накопления в тонком поверхностном слое	Тормозные колодки, барабаны, диски
При фреттинг коррозии	Коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях	Пружины, вкладыши

Электроэрозионное	Эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока	Контакты прерывателей
-------------------	--	-----------------------



**Рис.2.** Зависимость износа  $u(t)$  и скорости изнашивания  $V_H$  от времени  $t$ :

1— $u(t)$ -. 2—  $V_H$ ; I — участок приработки; II— участок нормального износа; III — участок катастрофического износа

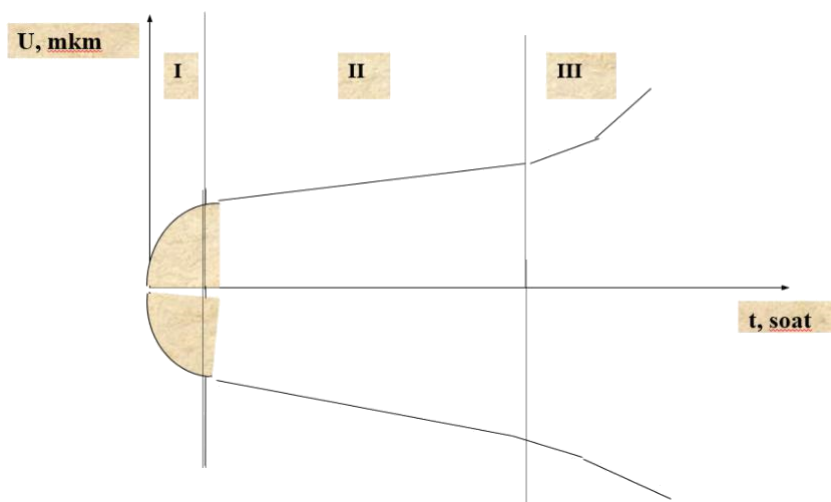
Износ результат процесса изнашивания или остаточной деформации материала. Износ выражают в мкм или мм. Если размеры детали в результате пластических деформаций изменяются незначительно, износ обозначать единицами массы (мг,г и т.д.). Износ можно определить по формуле:

$$\varepsilon = \int_0^{T_i} f_{\varepsilon} dT$$

где  $f_{\varepsilon}$  — функция характеризующая процесс изнашивания; T- время.

**Предельным зазором называется** такой зазор, при котором дальнейшая эксплуатация сопряжения невозможна.

### Образование предельного зазора в сопряжении

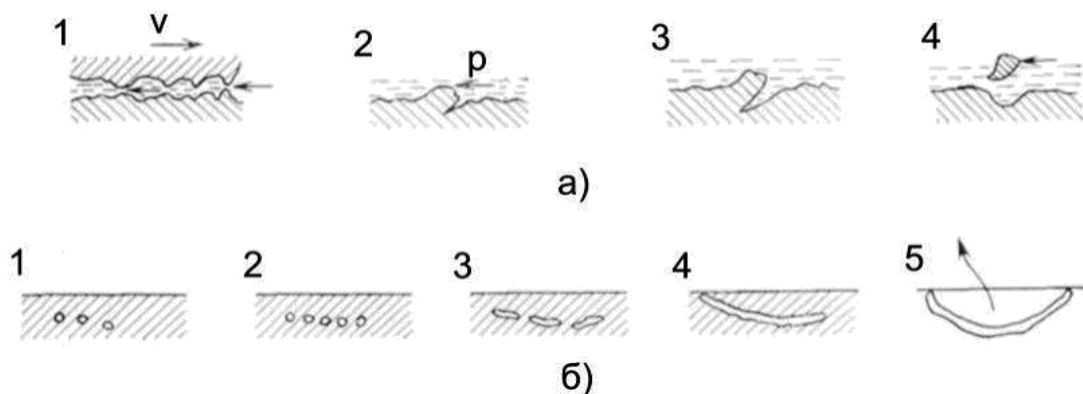


**Рис.3. Допустимым износ**

**Допустимым износом** детали называется такой износ, при котором деталь может быть поставлена в сопряжение без восстановления. Зазор в таком сопряжении после пробега автомобиля или агрегата, равного межремонтному циклу, не должен превышать предельный.

**Усталостным** называется механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя. Усталостное изнашивание наблюдается в большинстве сопряжений дорожных машин в качестве сопутствующего вида изнашивания. Оно возникает как при трении качения, так и при трении скольжения. Процесс усталостного изнашивания обычно связан с многократно повторяющимися циклами напряжений в контакте качения или скольжения. В процессе взаимодействия поверхностей в их верхних слоях возникают поля напряжений. В процессе трения на рабочей поверхности деталей возникают максимальные напряжения сжатия, а по глубине материала детали распространяются направленные касательные напряжения, максимум которых концентрируется на некотором расстоянии от точки контакта.

Большое распространение в настоящее время получила теория усталостного изнашивания, разработанная под руководством И.В. Карельского. Согласно этой теории частицы износа с поверхности трения могут отделяться и без внедрения шероховатостей одной детали в поверхностные слои другой детали сопряжения см. рис.



**Рис.4. Схема усталостного изнашивания поверхности при  $p < p_{кр}$  и возникновении:**

*а – первичной микротрещины на поверхности;*

*б– микротрещины в подповерхностном слое*

**Интенсивность усталостного изнашивания** определяется следующими факторами: наличием остаточных напряжений и поверхностных концентраторов напряжений (окислов и других крупных включений, дислокаций); качеством поверхности (микропрофиль, загрязнения, вмятины, царапины, задиры, канавки, риски); распределением нагрузки сопряжении (упругими деформациями, перекосом деталей, зазором); видом трения (качения, скольжения или качения с проскальзыванием); наличием и типом смазочного материала.

Изнашивание может происходить вследствие усталости микро-объемов материала, возникающей под действием многократных сжимающих и растягивающих усилий, не превышающих критических  $P_{кр}$ . В результате циклического воздействия нагрузки на поверхности детали возникают усталостные микротрещины, которые постепенно смыкаясь приводят к образованию частиц износа. Это явление получило название фрикционно-контактной усталости.

При механическом взаимодействии деталей в поверхностных слоях материала возникает сложное напряженное состояние: перед выступом шероховатости образуется зона сжатия материала, а за выступом – зона растяжения. В результате такого знакопеременного циклового воздействия в микрообъемах материала накапливаются повреждения, снижающие его прочность. Накопление усталостных микрповреждений ведет к разрушению поверхностных слоев материала в зоне трения.

Процесс катастрофического усталостного изнашивания протекает следующим образом (рис.а). Сначала на трущейся поверхности  $1$  образуются

усталостные микротрещины 2. Смазочный материал, попадая в микротрещины, способствует их расклиниванию 3 и выкашиванию частиц 4 металла, в результате чего на поверхности детали появляются мелкие оспины (питтинг). Число этих оспин и одновременно их размеры увеличиваются до тех пор, пока увеличивающиеся контактные напряжения на рабочих поверхностях не приведут к пластической деформации и интенсивному изнашиванию детали. Толщина разрушенного слоя металла примерно соответствует глубине распространения под поверхностью максимальных касательных напряжений.

В зависимости от соотношения нормальной и тангенциальной составляющих сил в контакте, а также от структуры материала и его физико-механических свойств первичная микротрещина может зародиться и в подповерхностном слое. В этом случае механизм разрушения поверхности можно представить следующим образом (рис.б): 1 – зарождаются подповерхностные дислокации; 2 – идет процесс накопления дислокаций; 3 – образуются полости; 4 – слияние полостей ведет к образованию микротрещин, параллельных поверхности трения; 5 – при достижении микротрещиной некоторой критической длины отделяется частица износа. Подповерхностные микротрещины зарождаются, как правило, у деталей с неоднородной структурой материала: азотированных, цементованных, поверхностно закаленных, а также у деталей, работающих при очень больших контактных напряжениях.



**Рис.5. Механизм разрушение**

**Смазочные материалы** уменьшают напряжение, действующее в контакте, в результате процесс образования микротрещин в начальной стадии идет медленнее. Усталостное изнашивание наиболее часто наблюдается в условиях высоких контактных нагрузок при одновременном качении и проскальзывании одной поверхности по другой. В таких условиях работают, например, зубчатые колеса, тяжело нагруженные шестерни и подшипники качения, зубчатые венцы.

Усталостное изнашивание рабочих поверхностей деталей сопровождается повышением **уровня шума и вибрации** по мере увеличения износа.

Усталостное изнашивание материала может быть **умеренным и прогрессирующим**.

Обычное **умеренное усталостное изнашивание** для большинства пар трения не является опасным, и детали, имеющие усталостные повреждения, могут использоваться длительное время.

**Прогрессирующее изнашивание** возникает при высоких контактных напряжениях, сопровождается интенсивным разрушением поверхности и может привести к поломке деталей (например, зуба шестерни).

Износы деталей машин определяют: микрометражем, профилографированием, взвешиванием, выявлением количества железа в масле ванны картера или корпуса, радиоактивными изотопами, по очисткам и выраженным лункам.

**Микрометраж деталей.** Для изучения износов при помощи микрометража транспортная средства или узел разбирают и детали замеряют при помощи измерительного инструмента в местах предположительного износа или деформации.

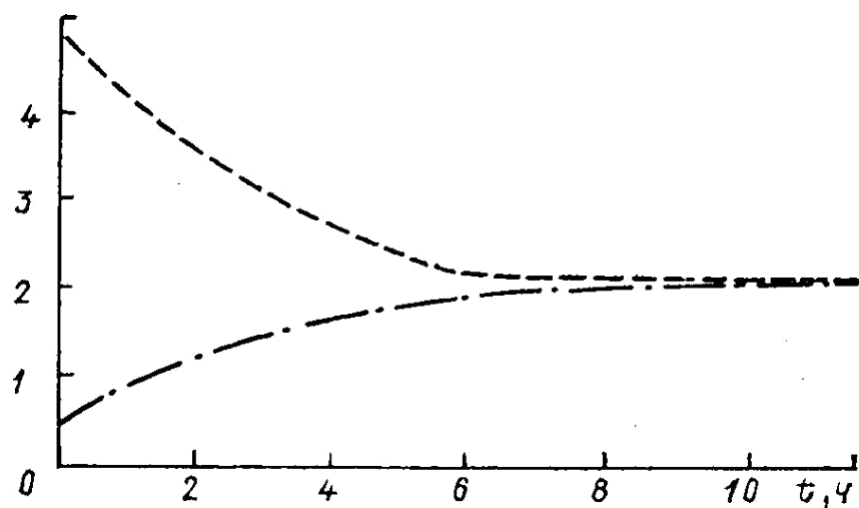
**Профилографирование.** При этом способе для изучения износов используют профилографы, которыми определяют изменение состояний поверхности и износа на определенных участках детали. Профилографирование можно применять для деталей, имеющих малые износы (плунжеры, поршневые пальцы).

**Взвешивание.** Износ определяют периодическим взвешиванием деталей и сравнением их массы с массой деталей до работы. Однако этот способ не дает возможности выявить изношенные участки деталей и характер их износа.

**Определение износа по количеству железа в масле.** При этом способе из системы смазки двигателя или коробки перемены передач, заднего моста периодически берут пробы масла и определяют количество железа в нем.

**Определение износа радиоактивными изотопами.** При изготовлении детали в сплав вводят радиоактивный изотоп или в изготовленной детали сверлят отверстия, в которые вставляют цилиндрики (свидетели) выполненные из радиоактивных металлов. Счетчиком радиоактивных частиц определяют их количество в пробах масла. Этим способом можно изучать износ одной или группы одинаковых деталей.

**Определение износов валов и отверстий деталей.** Валы выбраковываются, если в них есть трещины, раковины и изношены посадочные места сверх предельных размеров. Особое внимание при дефектовке уделяют контролю каленчатых валов.



**Рис.6. Образование «равновесной» шероховатости на деталях сопряжения из стали 45 и бронзы БрСНС-5-5-5 в процессе приработки:**

— ■ —    сталь;    бронза  
 —        сталь;    бронза