

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ИЗНАШИВАНИЯ

Салахутдинов И.Р., кандидат технических наук, доцент,

тел.: 88422559513, ilmas.73@mail.ru

Салахутдинов А.И., тел.: 89372711990, aidar.17333@gmail.com

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Глущенко А.А., кандидат технических наук, доцент,

тел.: 89374564933, oiddel@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет

Ключевые слова: изнашивание, классификация, износ, металл, коррозия, силы трения, истирание, смятие, окисление, абразив, приработка

В работе рассмотрены основные факторы, определяющие процессы изнашивания в машинах и оборудовании, представлена подробная классификация видов изнашивания.

Введение. В процессе эксплуатации оборудование и его элементы, подвергаясь различным воздействиям, изменяются по состоянию, размерам и свойствам. Эти изменения могут протекать плавно (закономерное изменение) и скачкообразно (незакономерное изменение). Причины указанных изменений — явления изнашивания, оцениваемые по изменению геометрических размеров элементов машин, их массы или по каким-либо другим косвенным признакам (износ вследствие изменения формы без потери массы и др.).

Материалы и методы исследований. *Изнашивание* — процесс, приводящий к изменению не только внешних, но и прочностных характеристик элементов машин, что постепенно уменьшает их надежность и ведет к отказам в работе.

Наиболее интенсивно процесс изнашивания протекает в сопряженных элементах машин, особенно при взаимном их перемещении. На рис. 1 представлены основные факторы, определяющие процессы изнашивания в машинах [1].

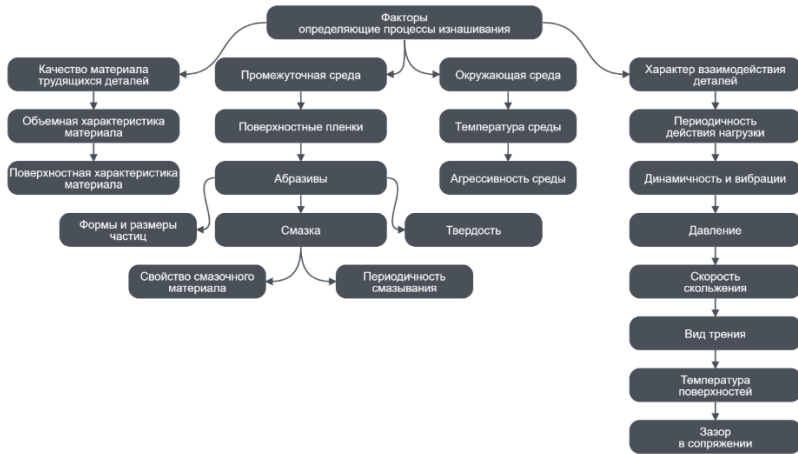


Рисунок 1 - Ключевые факторы, влияющие на процессы износа машин и оборудования.

Износ — результат изнашивания, проявляющийся в виде отделения или остаточной деформации материала детали. Последствием износа, как правило, является нарушение сопряжений, кинематических связей и работы деталей данного узла или механизма в целом.

Изнашивание машин может быть *механическим, молекулярно-механическим, коррозионно-механическим, коррозионным*.

Механическое изнашивание происходит в результате механических воздействий и включает следующие виды изнашивания: абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, эрозийное, усталостное, кавитационное.

Абразивное изнашивание возникает в результате режущего и царапающего действия твердых частиц. Эти частицы, попавшие извне или отделившиеся (выкрошенные, состроганные и т.п.) от взаимосприкасающихся и трущихся деталей, в значительной мере увеличивают их износ.

Гидроабразивное изнашивание возникает в результате воздействия твердых частиц, попавших в поток масляной жидкости, служащей смазкой между деталями.

Газоабразивное изнашивание возникает в результате воздействия твердых частиц, попавших между трущимися деталями с потоками газа.

Эрозионное изнашивание поверхностей деталей происходит в результате воздействия потоков жидкости или газа, содержащих чрезмерно мелкие твердые частицы или включения.

Газоабразивное изнашивание характерно для двигателей внутреннего сгорания, а эрозионное — для его частей: клапанной системы, распылителей форсунок, жиклеров карбюраторов и др.

Усталостное изнашивание возникает в результате повторного деформирования материала деталей. Оно возникает и развивается в наиболее напряженных, преимущественно рабочих, поверхностных слоях деталей вследствие длительного действия нагрузок, особенно переменных по значению и направлениям. При этом виде изнашивания причиной поломок деталей являются усталостные трещины, которые начинают развиваться в той части поверхности, где действуют растягивающие напряжения, и, как правило, от того места, где появились различного рода риски, забоины, отслоения.

Кавитационное изнашивание проявляется при от-носительном перемещении твердых тел в жидкостной среде. Чаще всего оно наблюдается в гильзах блока цилиндров, систем охлаждения и смазки двигателей внутреннего сгорания, лопастей масляного и водяного насосов и т.п.

Молекулярно-механическое изнашивание происходит в результате одновременного воздействия механических и молекулярных или атомарных сил. Взаимо соприкасающиеся и трущиеся поверхности сопряженных деталей вследствие их неровностей и шероховатостей имеют контакты, через которые передаются значительные удельные нагрузки, поэтому возможны разрывы смазывающей пленки (масел, мазей), а при больших относительных скоростях перемещения поверхностей деталей возникает чрезмерный нагрев, приводящий к испарению смазывающей пленки масел или мазей и к схватыванию частиц соприкасающихся деталей. В дальнейшем происходит отрыв и разрушение мест схватывания деталей. При этом на одной из поверхностей образуется углубление, а на другой — выступ, т.е. происходит перенос металла с одной поверхности на другую.

Рассматриваемый вид изнашивания наблюдается в процессе приработки деталей и элементов машин [1, 2-4].

Коррозионно-механическое изнашивание происходит при трении материалов, вступивших в химическое взаимодействие со средой (кислородом воздуха и другими газами). Под действием агрессивной окислительной среды на взаимно соприкасающихся и трущихся поверхностях деталей образуются пленки окислов, которые в результате механического трения снимаются, а поверхности, освободившиеся от этих пленок, снова окисляются и т.д., т.е. происходит процесс изнашивания. Примером является изнашивание деталей цилиндропоршневой группы двигателей вследствие наличия в среде таких агентов коррозии, как серная, сернистая и органические кислоты.

Этот метод оказывает наиболее значительное влияние на процесс изнашивания оказывают силы трения, вызывая механический и другие виды износа взаимно соприкасающихся поверхностей. Причем возникающее в результате трения изнашивание представляет собой целый ряд одновременно протекающих процессов: истирание, смятие, окисление и др.

Процесс *истирания* возникает при скольжении одной детали машины или ее элемента относительно другой. Это явление называется трением первого рода и происходит вследствие того, что соприкасающиеся поверхности, как правило, имеют неровности (шероховатости), препятствующие свободному перемещению (скольжению) одной детали по другой. Процесс истирания происходит тем интенсивнее, чем более шероховаты соприкасающиеся поверхности. Интенсивность изнашивания возрастает, если между соприкасаемыми поверхностями попадают абразивные или другие включения.

Процесс истирания также возникает при взаимном обкатывании поверхностей деталей машин под нагрузкой или при ударных воздействиях. Это явление известно как трение второго рода. Оно происходит из-за образования микротрещин, а иногда и макротрещин на контактирующих поверхностях, вызванных обкатыванием или ударами. Эти трещины со временем углубляются, формируя тонкую металлическую плёнку, которая впоследствии отслаивается или

выкрашивается. Такой процесс приводит к износу с крупными разрушениями. Основные причины подобного износа — поверхностная усталость и структурные изменения металла из-за перегрева и ударных нагрузок. Данный тип механического износа часто встречается на рабочих поверхностях зубчатых и червячных передач, подшипников качения, опорных узлов и аналогичных элементов.

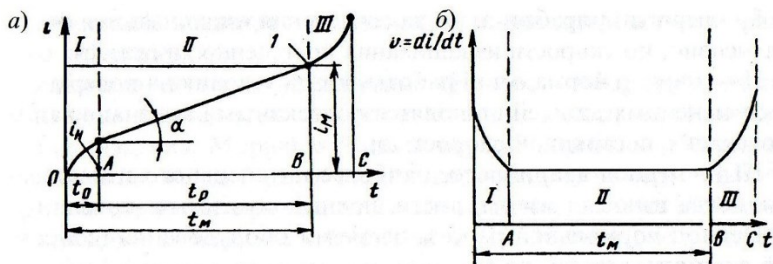
Коррозионное изнашивание — разрушение металлических частей машин под действием окружающей среды, особенно увлажненной. Разрушение при этом виде изнашивания начинается, как правило, с наружных поверхностей, постепенно проникая вглубь. Наиболее распространенный вид коррозии — ржавление, т.е. соединение металла с кислородом воздуха. В результате коррозии неокрашенные поверхности металлических частей машин сначала покрываются темным налетом, а затем глубокими (если не будут приняты необходимые меры) разъедающими изъянами, при этом металлические части приобретают губчатую непрочную структуру. Наибольшему поражению и износу в результате коррозии подвергаются детали машин с малым содержанием углерода. Интенсивность коррозии нарастает в присутствии ряда газов и жидкостей, содержащих кислоты и щелочи.

Различают два вида коррозионных процессов изнашивания: *химический* и *электрохимический*.

Химическая коррозия проявляется при воздействии кислорода воздуха и различных газов (углекислого, сернистого), а также жидкостей, не проводящих электрического тока (масел и мазей переработки нефти, различных смол). Интенсивность химического изнашивания деталей зависит от качества материалов, из которых они изготовлены, степени окисляемости при высоких температурах и условий работы (нейтральная или агрессивная среда и др.).

Электрохимическая коррозия возникает в средах, проводящих электрический ток, т.е. в электролитах — растворах солей, кислот, щелочей, а также во влажной атмосфере и почве.

Закономерность нарастания износа элементов оборудования, особенно в их сочленениях, выражается кривой, имеющей три четко выраженных участка, которые характеризуют периоды работы сочленений (рис. 2):



а — нарастание износа; б — скорость изнашивания
Рисунок 2 - Изнашивание в сопряженных деталях

I— период приработки, когда сочленения изнашиваются очень интенсивно, но скорость изнашивания постепенно снижается;

II— период нормальной работы, когда условия на поверхности сочлененных деталей становятся постоянными, а изнашивание протекает с постоянной скоростью;

III— период аварийного, наиболее интенсивного изнашивания, когда износы (зазоры) достигают недопустимых значений [1,5,6].

Период нормальной работы элемента оборудования (сборочной единицы, детали, пр.):

$$t_M = \frac{t_0 + (i_M - t_H)}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1)$$

где i_M — продолжительность приработки деталей; t_H — износ, соответствующий максимально допустимому износу (зазору) в сопряжениях деталей; i_H — износ, соответствующий окончанию приработки деталей; $\operatorname{tg} \alpha$ — коэффициент, характеризующий темп скорости изнашивания деталей.

На скорость изнашивания в период нормальной эксплуатации влияют следующие ключевые факторы: условия работы — такие как давление, тип нагрузок, относительная скорость, температура и другие; свойства используемых материалов и их изменения в процессе эксплуатации; параметры сопряжения — характер контакта взаимодействующих элементов, качество обработки материалов, из которых они изготовлены; своевременность и качество проведения технического обслуживания; а также соответствие используемых топлив и смазочных материалов установленным требованиям.

Помимо износа, могут наблюдаться пластические деформации элементов оборудования, вызванные чрезмерными или недопустимыми нагрузками.

Изменения, происходящие в машинах и их компонентах, могут быть описаны с помощью определённой функциональной зависимости.:

$$И_{изм} = f(F_{экс} F_{кон} F_{техн} F_{кв}), \quad (2)$$

где $F_{экс}$ — эксплуатационные факторы (характер и особенности производства работ, режимы использования машин, климатические условия и др.); $F_{кон}$ — конструктивные факторы (кинематические и динамические особенности машин, свойства материалов, из которых изготовлены их элементы, и др.); $F_{техн}$ — технологические факторы (вид материалов, из которых изготовлены элементы машин, способы и качество их обработки и др.); $F_{кв}$ — субъективные особенности и квалификация обслуживающего машины персонала (машинистов, слесарей, заправщиков и др.).

Износы в машинах и их элементах подразделяются на моральные и физические.

Моральный износ — снижение стоимости оборудования под влиянием технического прогресса. Этот вид износа имеет две формы проявления. Моральный износ первой формы — обесценивание машин вследствие постоянного роста производительности труда в отраслях, выпускающих эти машины, а также изготавливающих для них изделия, материалы и т.п. Область распространения этой формы морального износа определяется темпами технического прогресса той отрасли народного хозяйства и связанных с ней отраслей, которые производят указанные машины или комплектующие для них изделия, материалы и т.п.

Потеря стоимости оборудования в связи с моральным износом первой формы:

$$C_{пф} = C_{перв} - C_{вос} \quad (3)$$

где $C_{перв}$ — первоначальная стоимость оборудования, руб.; $C_{вос}$ — восстановительная стоимость машины или стоимость полного ее воспроизводства на момент физического износа с учетом появления более совершенных конструкций, руб.

Восстановительная стоимость оборудования через определенное время T :

$$C_{\text{ВОС}} = \frac{C_{\text{ПЕРВ}}}{(1+p)^T} \quad (4)$$

где $C_{\text{ПЕРВ}}$ — первоначальная стоимость машины, руб.; p — среднегодовой прирост производительности труда в отрасли и в связанных с ней отраслях, выпускающих указанный вид оборудования.

Моральный износ второй формы — обесценивание оборудования вследствие появления новой техники, т.е. аналогичных или близких к ним машин, но более совершенных конструкций. Показателем морального износа этой формы служит коэффициент снижения стоимости машин вследствие технического прогресса, выраженный в долях от первоначальной ее стоимости:

$$И_{\text{МОП}} = \frac{C_{\text{ПЕРВ}} - C_{\text{ВОС}}}{C_{\text{ПЕРВ}}} \quad (5)$$

Физический износ возникает в результате механического молекулярно-механического и коррозионно-механического изнашиваний и складывается из износа конструктивных и неконструктивных элементов машин. Физический износ появляется как вследствие прямого действия машин и их элементов (износ в результате прямого действия машин), так и вследствие непрямого действия оборудования и отдельных его элементов (износ в результате бездействия оборудования — во время простоев, когда на них влияют атмосферные и другие неблагоприятные условия). Износ определяют в процентах: новые элементы в оборудовании (детали, сборочные единицы и др.) принимаются за 100 % годности, а изношенные, применение которых является невозможным, — за 100 % износа.

Физический износ оборудования в денежном выражении оценивается как процент от его восстановительной стоимости.

$$И_{\text{СТ}} = \frac{C_{\text{РЕМ}}}{C_{\text{ВОС}}} 100 + a \quad (6)$$

где $C_{\text{РЕМ}}$ — сметная стоимость ремонта оборудования, руб.; $C_{\text{ВОС}}$ — это стоимость полного воспроизводства оборудования на момент его физического износа с учётом появления более современных и усовершенствованных конструкций, выраженная в рублях.

a — относительное значение остаточного износа, которое определяется на основе опытных данных ремонта аналогичного оборудования и выражается в процентах. Ремонт оборудования целесообразен в том случае, если затраты на восстановление

оборудования будут меньше затрат на приобретение нового, т.е. $< C_{\text{нов}}$, где — стоимость нового оборудования. При этом нельзя не учитывать степени совершенства конструкции, соответственно, и технико - экономических показателей как старого, так и нового оборудования.

Общий износ оборудования, учитывающий как физический, так и моральный износ, выражается в долях от его первоначальной стоимости.

$$I_{\text{общ}} = 1 - (1 - I_{\text{ст}})(1 - I_{\text{мор}}) \quad (7)$$

где $(1 - I_{\text{ст}}), (1 - I_{\text{мор}})$ — остаточные стоимости оборудования в долях от первоначальной стоимости вследствие физического и морального износов; $I_{\text{ст}}$ — показатель физического износа оборудования в долях от стоимости ее воспроизводства; $I_{\text{мор}}$ — показатель морального износа в долях от первоначальной стоимости.

Физический суммарный износ оборудования складывается из износов, вызываемых: нагрузками в процессе работы оборудования (I_1); нагрузками во время его транспортирования (I_2); различными воздействиями при техническом обслуживании, ремонте, хранении (I_3):

$$I_{\text{сум}} = I_1 + I_2 + I_3 \quad (8)$$

Суммарный износ оборудования определяют двумя методами — аналитическим и графическим. Наиболее наглядным является графический метод.

По горизонтальной оси (рис. 3) откладывают полный срок службы машины T (принимаемый по нормативным таблицам сроков службы), а по вертикальной оси $I_{\text{сум}}$ — максимальный показатель суммированного износа. Сначала рассчитывают износ главного несменяемого и невозстанавливаемого элемента оборудования (например, основной рамы, станины и т.п.) в абсолютных величинах. Прямая линия, проведённая от начала координат до соответствующей точки, показывает суммарный износ данного элемента. К окончанию срока службы оборудования этот элемент будет полностью изношен. (частный износ $I_{\text{сум}} = 100\%$).

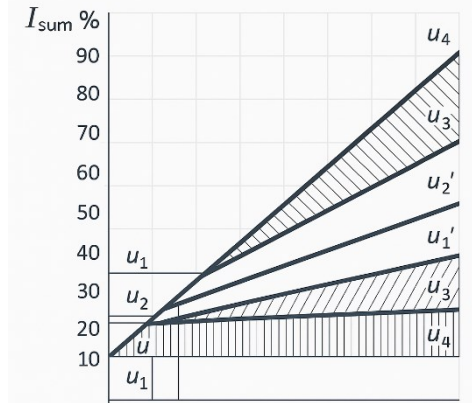


Рисунок 3 - График накопленного износа машины, включающей элементы, подлежащие замене или полному восстановлению с разной периодичностью (по укрупнённым показателям)

Для менее долговечных элементов график износа строят в порядке убывания сроков службы. Следовательно, для следующего элемента, второго по сроку службы над линией 0 - строят линию 0 - 2 с ординатой в точке 2, соответствующей сроку службы. Этот элемент за срок службы подвергается полному износу дважды (линии 0 - 2 и 2 - 2'). Для последующего менее долговечного элемента, третьего по сроку службы, над линией 0 - 2 строят линию 0 - 3 суммарного износа и т.д. Отрезки ординат - 2' - 3'; 3' - 4' и т.д. будут выражать значения суммарного износа укрупнённых элементов, изнашиваемых за полный срок службы машины. В данном случае - ордината 0 - 6' будет представлять линию суммарного износа всей машины.

Срок службы элементов машин устанавливается на основе результатов испытаний, экспериментальных проверок или информации из нормативных справочников.

При определении суммарного износа выполняются следующие шаги: составляется список всех конструктивных и неконструктивных элементов машины; определяется срок их службы; элементы группируются таким образом, чтобы каждую группу можно было рассматривать как один укрупнённый элемент; для каждой группы устанавливаются срок службы и стоимость всех элементов, которые

заменяются или восстанавливаются одновременно; затем составляется таблица и рассчитывается суммарный износ за любой период эксплуатации машины либо строится график износа по укрупнённым показателям.

Выводы. При определении срока службы, стоимости укрупнённых элементов и частоты их обновления можно использовать сведения о периодичности и средней стоимости соответствующего технического обслуживания и ремонта, а также средней стоимости заменяемых при этом запасных частей.

Библиографический список:

1. StudFiles [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/9100073/page:5/>
2. Результаты экспериментальных исследований износостойкости деталей с измененными физико-механическими характеристиками поверхности трения / И. Р. Салахутдинов, А. Л. Хохлов, А. А. Глущенко, К. У. Сафаров // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы II-ой Международной научно-практической конференции. Том 2010-3. – Ульяновск, 2010. – С. 107-116.
3. Салахутдинов, И. Р. Теоретическое обоснование процесса снижения износа цилиндро-поршневой группы биметаллизацией методом вставок / И. Р. Салахутдинов, А. Л. Хохлов, А. А. Глущенко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2011. – № 2. – С. 42-45.
4. Салахутдинов, И. Р. Повышение износостойкости гильз цилиндров бензиновых двигателей биметаллизацией рабочей поверхности трения : монография / И. Р. Салахутдинов, А. Л. Хохлов ; Салахутдинов И. Р., Хохлов А. Л. . – Ульяновск, 2012. – 180 с. – ISBN 978-5-902532-91-0. – EDN QLDDCJ.
5. Патент № 2451810 С1 Российская Федерация, МПК F02F 1/20. Цилиндропоршневая группа двигателя внутреннего сгорания : № 2011100391/06 : заявл. 11.01.2011 : опубл. 27.05.2012 / Д. А. Уханов, А. Л. Хохлов, И. Р. Салахутдинов, А. А. Хохлов ; заявитель ФГОУ ВПО "Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия". – EDN NHXNBT.

6. Починов, В. Д. Повышение износостойкости гильз цилиндров путем нанесения электроизолирующего покрытия / В. Д. Починов, И. Р. Салахутдинов // Научно-технологические приоритеты в развитии агропромышленного комплекса России: Материалы 73-й Международной научно-практической конференции. Часть II. – Рязань, 2022. – С. 120-124. – EDN NKIWYY.

CLASSIFICATION OF WEAR TYPES

Salakhutdinov I.R., Salakhutdinov A.I., Glushchenko A.A.

Keywords: *wear, classification, wear, metal, corrosion, friction forces, abrasion, crushing, oxidation, abrasive, running-in*

The paper examines the main factors that determine wear processes in machines and equipment, and presents a detailed classification of wear types.