

Лаб.6-7

**ВИДЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
РАЗРУШЕНИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

2

1. ПРИЧИНОЙ РАЗРУШЕНИЯ деталей, узлов являются:

- 1) металлургические
- 2) конструктивные,
- 3) производственные (технологические) дефекты,
- 4) механические повреждения поверхности и
- 5) нарушения режима эксплуатации.

Это могут быть:

- 1) неметаллические включения, волосовины;
- 2) неправильная конструкция, например, неверный шаг резьбы или слишком маленькое сечение, недостаточные зазоры;
- 3) повреждения при изготовлении, а именно, закаты, сварные трещины;
- 4) активная вредная среда, например, коррозионная атмосфера;
- 5) неправильный монтаж, например, слабый крепеж.
- 6) работа под нагрузкой, превышающей допустимую прочность детали;
- 7) ударные нештатные нагрузки единовременного характера и т.п.

При проведении автотехнической экспертизы, как правило, применяют следующие методы исследования:

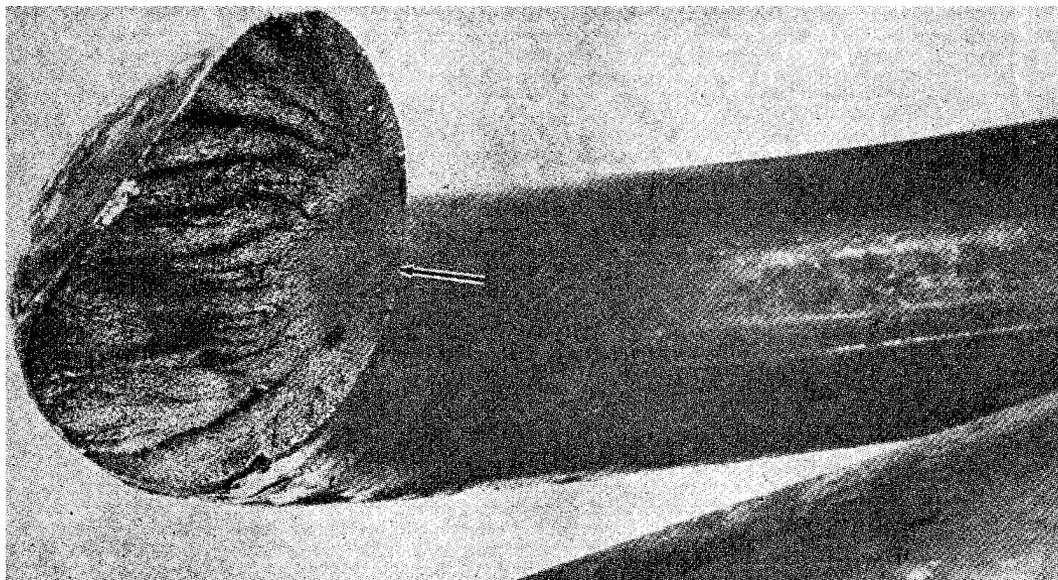
- 1-органолептический(зрение),
- 2-инструментальный,
- 3-методика исследования металлов и обработки опытных данных,
- 4-методика трасологической экспертизы (при необходимости)

1. Металлургические дефекты

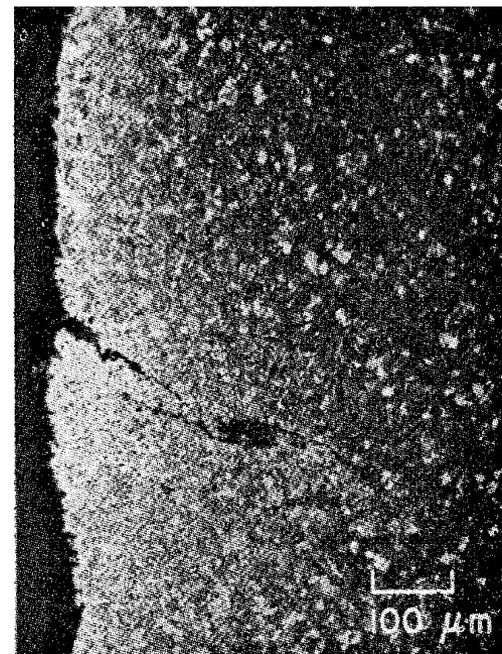
(слайд 3-5)

3

Усталостный излом пружины произошел из-за подповерхностного дефекта в виде волосовины.



а



б

Рис.1. Усталостный излом пружины, который произошел после года эксплуатации:
а – зона усталостного развития трещины – на внутреннем (правом) крае поверхности излома (показано стрелкой). Это обычное место зарождения усталостной трещины в спиральной пружине; излом можно считать типичным. Усталостная трещина распространилась внутрь пружины примерно на 13 мм, после чего начался долом;
б – микроструктура пружины вблизи очага разрушения. Виден трещинообразный дефект, который, вероятно был зародышем усталостной трещины. **Обезуглероживание (светлая зона) вокруг дефекта указывает на то, что дефект представляет собой волосовину, которая была до начала эксплуатации.** x100.

Разрушение стального вала из-за включений

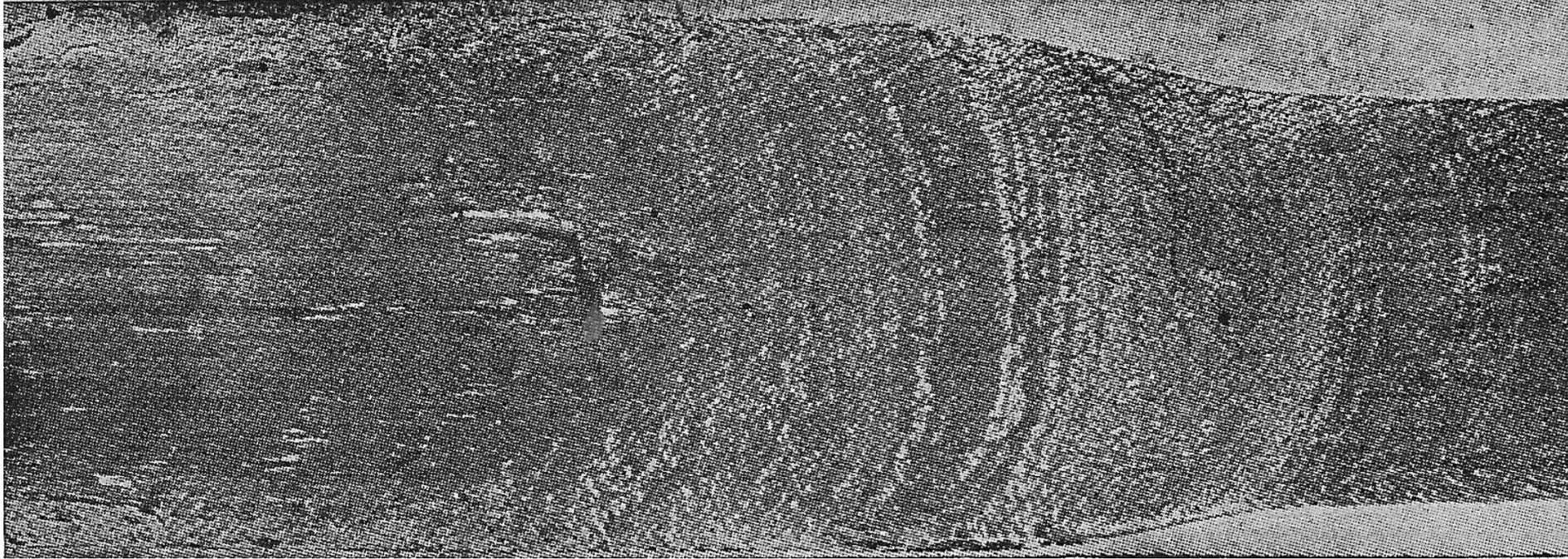
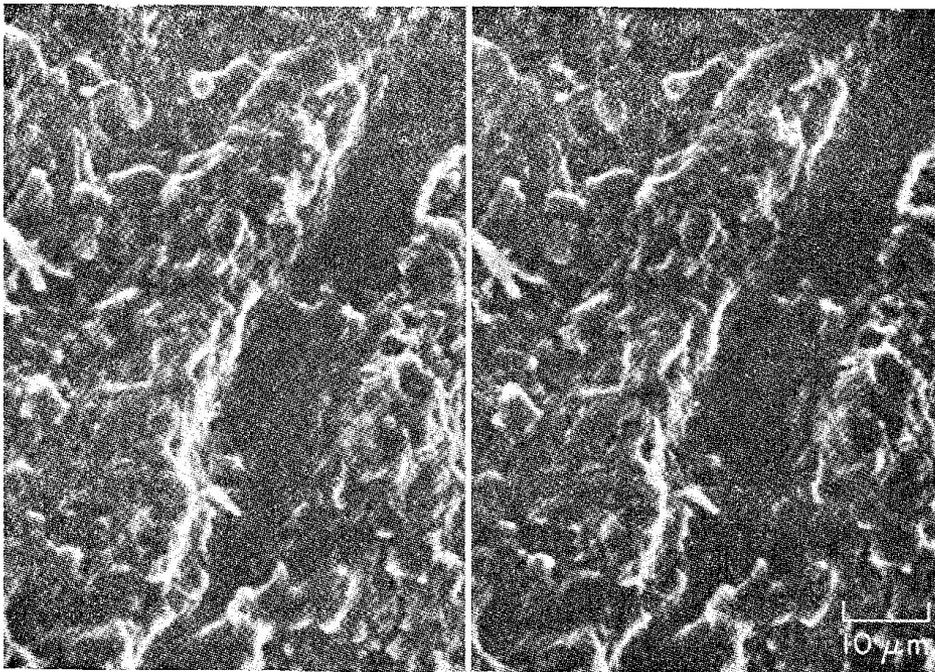


Рис.2. Поверхность излома стального вала. Эта часть вала отломилась в процессе эксплуатации. Трещина распространилась на большое расстояние в продольном направлении из-за дефектов, связанных с присутствием вытянутых в продольном направлении включений сульфидов марганца (см. слайд 5). x1/2

(см. слайд 5)

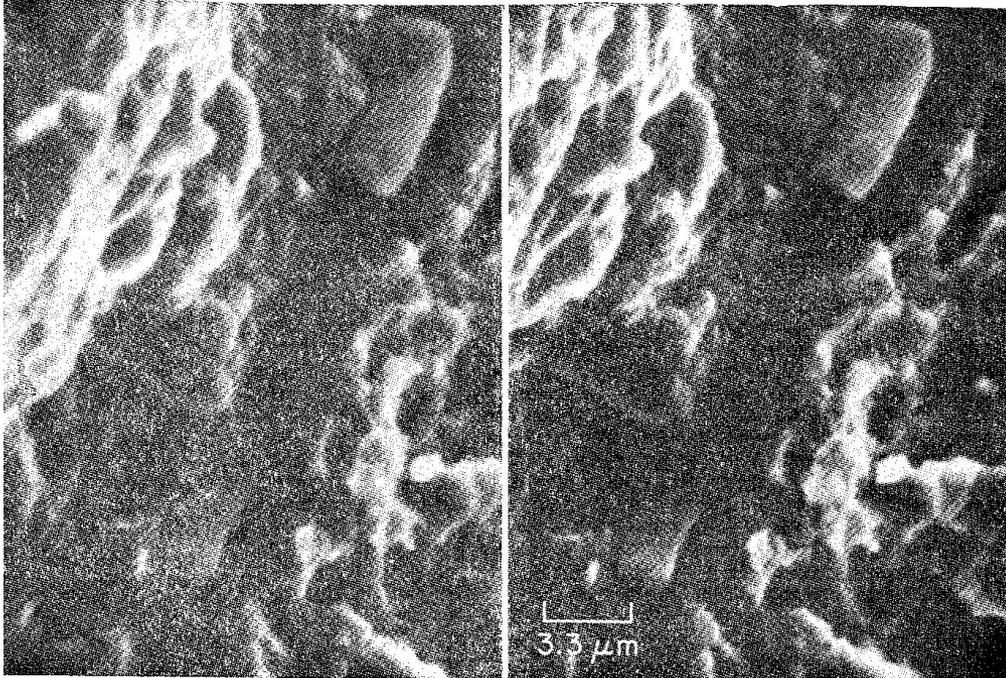


Сульфиды марганца в металле

Рис.3. Строчечные включения и две дорожки от них на поверхности излома стального вала (см. слайд 4).

На верхней стереопаре видны дорожки, в которой раньше лежали включения. На нижней стереопаре в дорожке еще сохранились два обломка включений.

РЭМ: вверху – х1000; внизу – х3000



2. Конструктивные дефекты

(слайд 7-15)

Разрушенный коленчатый вал автомобиля марки Лэнд Ровер

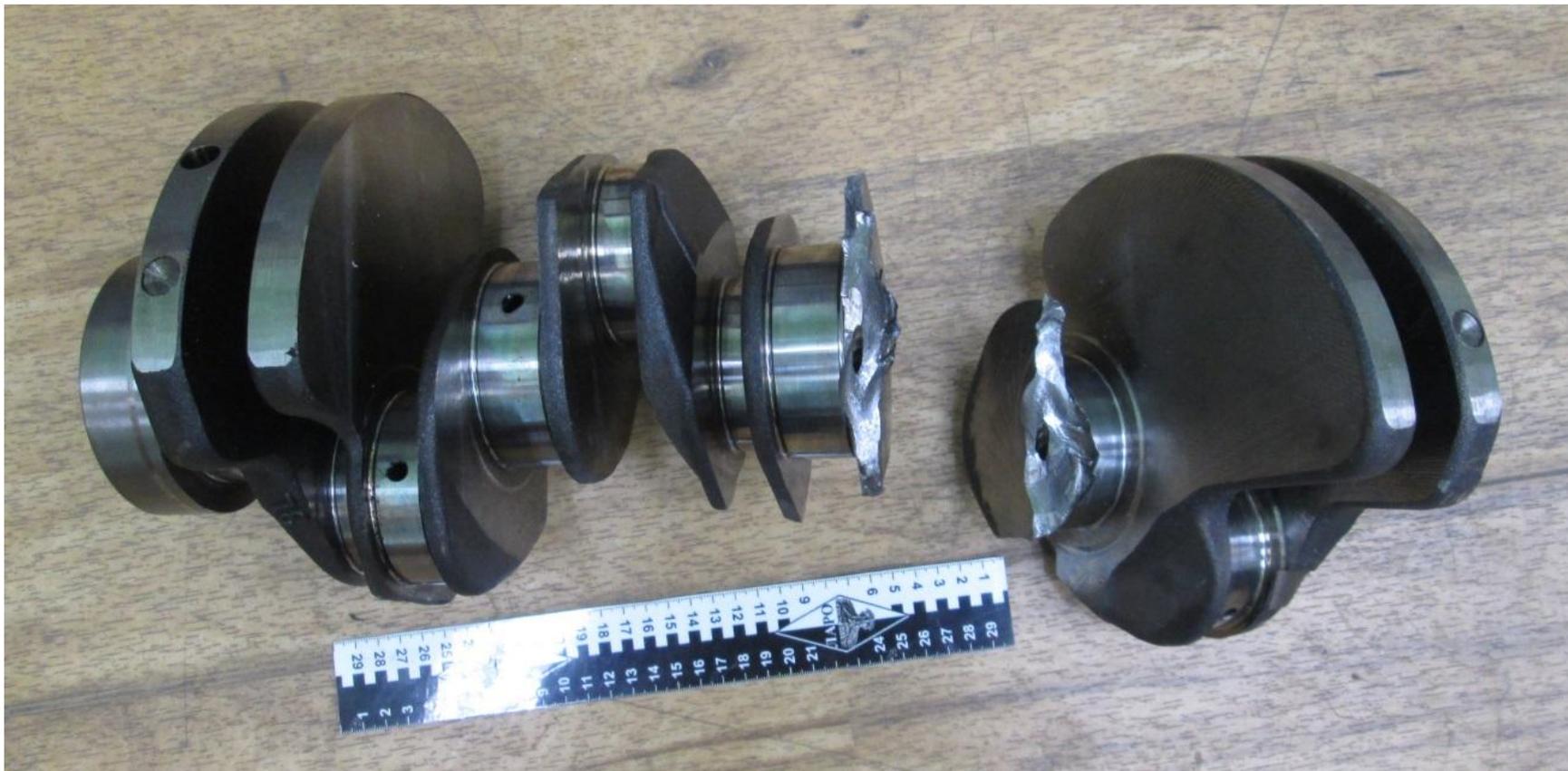


Рис. 4. Разрушение произошло на границе второй шатунной и второй коренной шеек,

Усталостный излом коленчатого вала



Рис.5. Разрушение началось от масляного канала и распространялось в двух направлениях: к шатунной и коренной шейкам.

Масляный канал и галтель являются концентраторами напряжений и конструктивно ослабляют деталь. **Близкое расположение масляного канала к галтели явилось причиной зарождения и развития усталостной трещины, приведшей к разрушению.**

3. Производственные (технологические) дефекты

(слайд 10-15)

К производственным дефектам часто относят сварные швы, разрушения которых происходят в результате некачественного сваривания деталей друг с другом из-за нарушения технологии сварки.

Для надежного соединения деталей между собой необходимо, чтобы в процессе сваривания происходило расплавление металла обеих свариваемых частей, в результате чего происходит надежное сваривание металла сварного шва и свариваемых деталей. При нарушении технологии сварки происходит расплавление металла только на одной из частей детали, в результате чего сваривание металла сварного шва с металлом второй части детали не происходит, либо при недостаточном количестве металла, подаваемого в сварной шов, не происходит надежного связывания свариваемых деталей друг с другом, слайд 10-12.

1. Дефекты сварного шва



Рис.6. Разрушение сварного шва в результате непровара. На поверхности видны брызги металла.

В изломе непровар всегда заметен, так как проходит темной полосой на границе между наплавленным и основным металлом.!!!! Непровар подпадает под классификацию дефектов межгосударственного стандарта ГОСТ 30242-97

Дефект сварного шва



Рис.7 Нарушение формы сварного шва привело к его разрушению.

Дефект сварного шва



Рис. 8. Из-за нарушения технологии сварки внутренние напряжения в металле превысили допустимые значения, наблюдается разрыв основного металла

2. Излом звена цепи по месту сварки

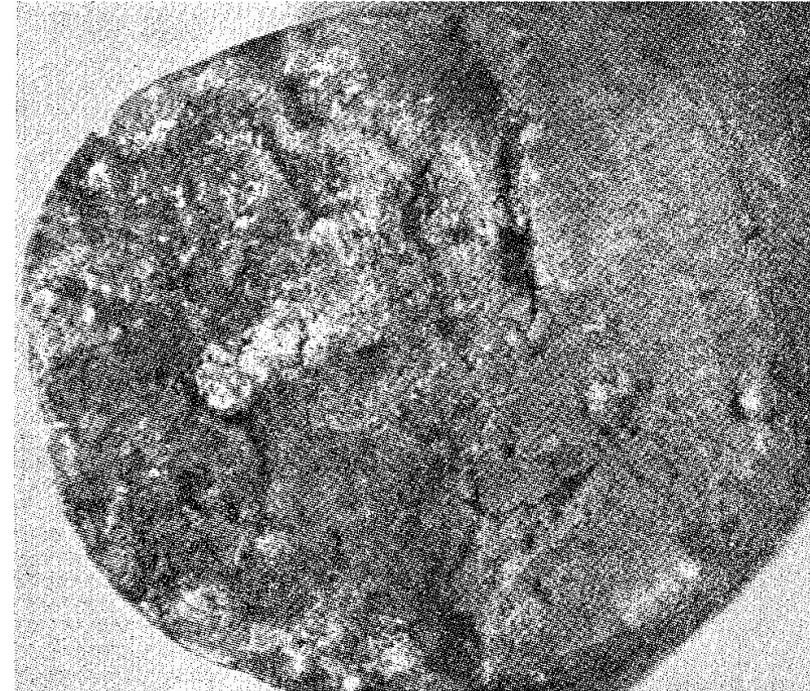
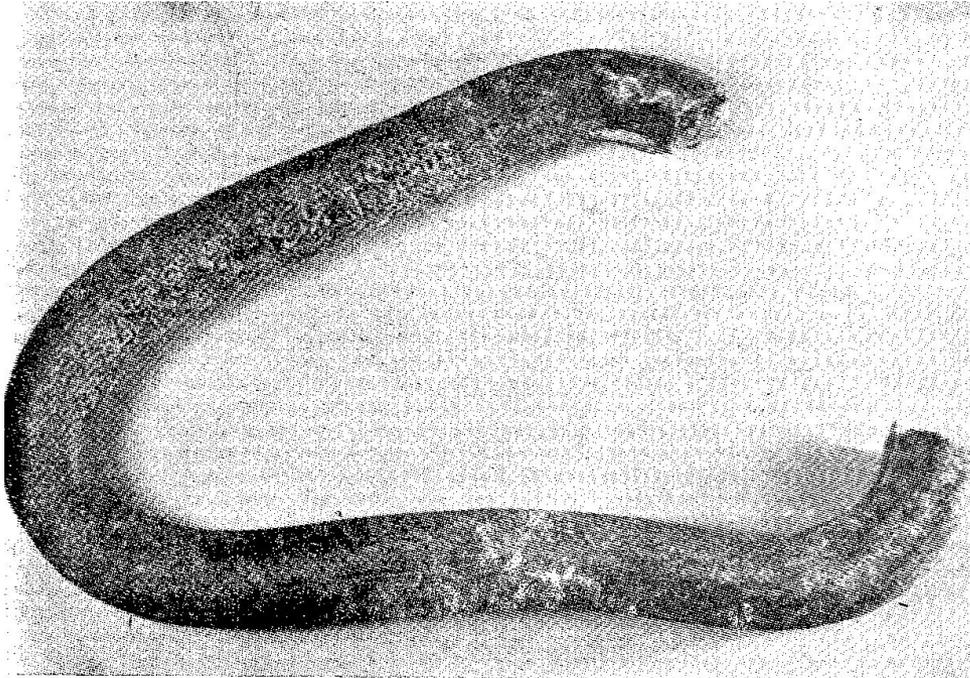


Рис. 9. Разрушенное из-за плохого качества сварного соединения звена цепи:
а – общий вид. $\times 5/6$; б – поверхность излома, *видны тусклые недеформированные участки, в которых при сварке не произошло полного расплавления металла, что привело к дальнейшему разрушению.* $\times 4,5$

3. Разрушение шатуна и шатунного болта автомобиля марки KIA на маленьком пробеге привело к выходу из строя двигателя.

Для установления причины разрушения были исследованы шатун и шатунный болт.

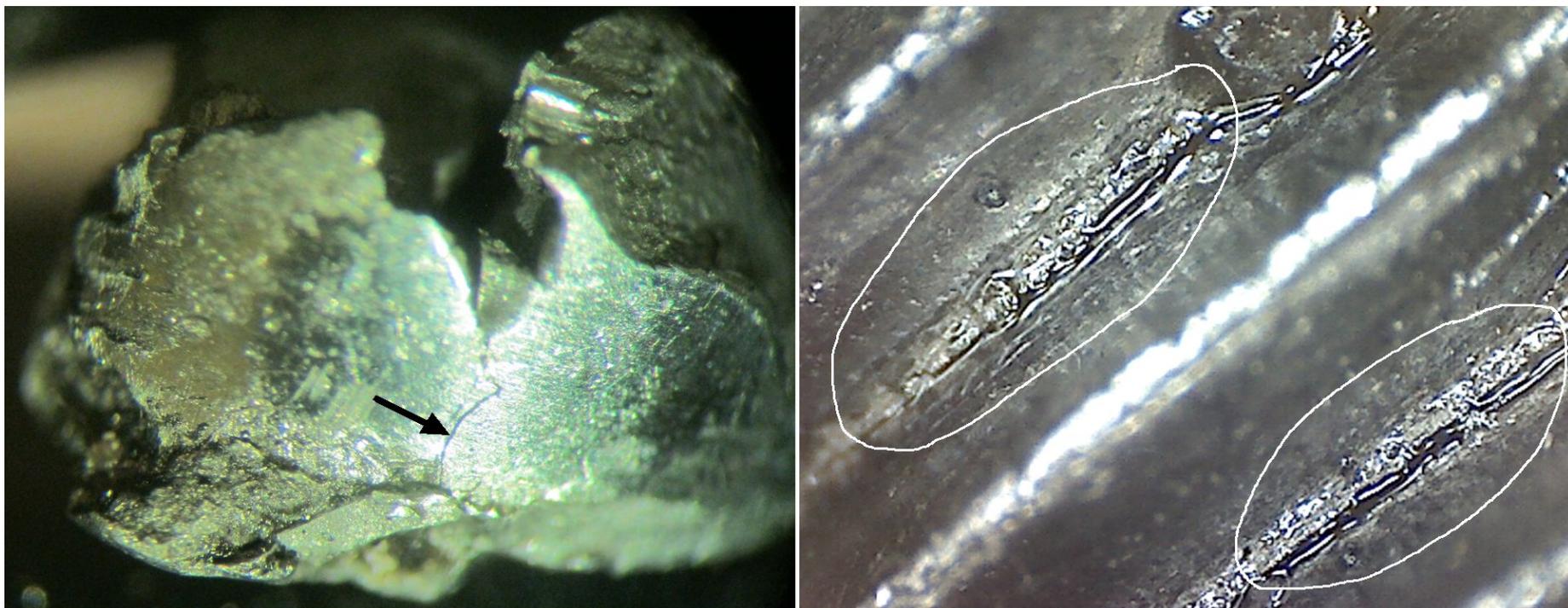
В нижней головке шатуна были найдены два фрагмента разрушенных шатунных болтов (маленький и большой). При исследовании этих фрагментов под микроскопом МБС-10 на них были обнаружены трещины (см. слайд 14, рис.10)

Наличие трещин на фрагментах шатунного болта свидетельствует об усталостном разрушении болта!!!!!!

Процесс разрушения двигателя можно представить следующим образом. Возникновение усталостных трещин привело к уменьшению момента затяжки шатунного болта, что привело к его самопроизвольному отворачиванию примерно на 1,5-2 оборота. Появление зазора между шатунным болтом и шатунной крышкой привело к возникновению ударных нагрузок, которые разрушили шатунный болт полностью. (см. слайд 15)

14

Разрушение шатуна и шатунного болта автомобиля марки KIA на маленьком пробеге привело к выходу из строя двигателя.



а

б

Рис.10. Трещины на сломанных фрагментах шатунного болта:

а – маленький фрагмент (трещина показана стрелкой);

б – трещины между витками резьбы на большем фрагменте (в овалах)

• Наличие трещин на фрагментах шатунного болта свидетельствует об усталостном разрушении болта!!!!!!! Процесс разрушения двигателя можно представить следующим образом. (см. слайд 15, рис.11.)



Рис.11. Изогнутый второй шатунный болт (показан стрелкой).

Возникновение усталостных трещин привело к уменьшению момента затяжки шатунного болта, что привело к его самопроизвольному отворачиванию примерно на **1.5-2 оборота**. Появление зазора между шатунным болтом и шатунной крышкой привело к возникновению ударных нагрузок, которые разрушили шатунный болт полностью. **Разрушение шатунного болта** (рис.11) привело к возникновению изгибающих нагрузок на втором шатунном болте, в результате которых второй шатунный болт первоначально изогнулся, а затем разрушился. Отсоединение шатуна от шатунной шейки перестало ограничивать ход поршня, в результате произошло соударение поршня с головкой блока цилиндра и его разрушение. В дальнейшем попадание фрагментов шатуна и фрагментов разрушенного поршня между вращающимся коленчатым валом и верхним поддоном картера привело к разрушению последнего.

ВЫВОД: причиной выхода из строя двигателя является усталостное разрушение болта.

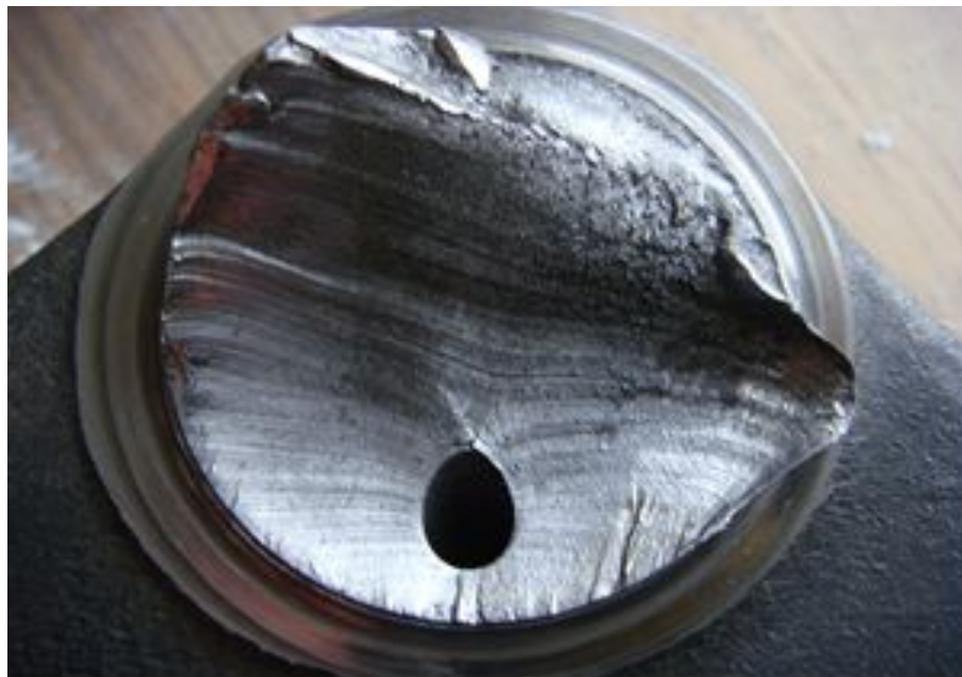
Возникновение усталостного разрушения шатунного болта на маленьком пробеге автомобиля свидетельствует о его некачественном изготовлении, что относится к **производственному дефекту**

4. Механические повреждения поверхности

(слайд 17-18)

17

Грубая механическая обработка детали инструментом, а также плохая шлифовка поверхности образуют на поверхности риски, задиры, которые создают локальные концентрации напряжений, приводящие к образованию усталостных трещин и как результат – разрушение детали



а



б

Рис.17. Разрушение коленчатого вала – брак механической обработки:

а – Мицубиши Лансер после перешлифовки на ремонтный размер;

б – поверхность автомобиля Ланд Ровер Дискавери 3. **Видны следы инструмента и цвета побежалости в масляном канале (масляные каналы должны иметь полированную поверхность + накатка шариком для создания сжимающих напряжений)**

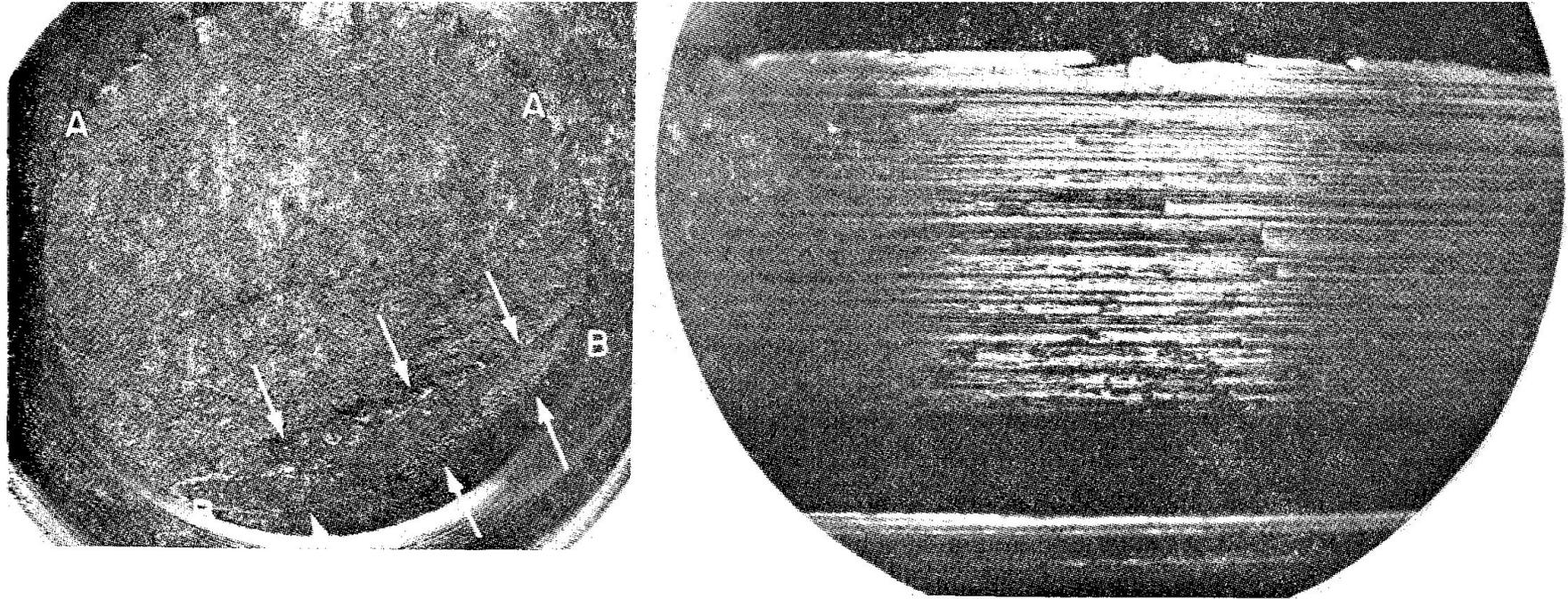


Рис. 18. Усталостное разрушение поршневого штока автопогрузчика из низкоуглеродистой стали:

а – несколько очагов усталостных трещин видно сверху (между буквами А) и несколько снизу (между буквами В). **Излом получен при переменном изгибе. Долом произошел в небольшой области, указанной стрелками.** х3;

б – следы грубой механической обработки галтели, показанной на «а», между участком поршневого вала большего диаметра и нарезанной частью вала. Вторичная трещина, возникшая от следов механической обработки, видна сверху в центре. Эти следы – **участки локальной концентрации напряжений, которые привела к образованию усталостных трещин.** х10

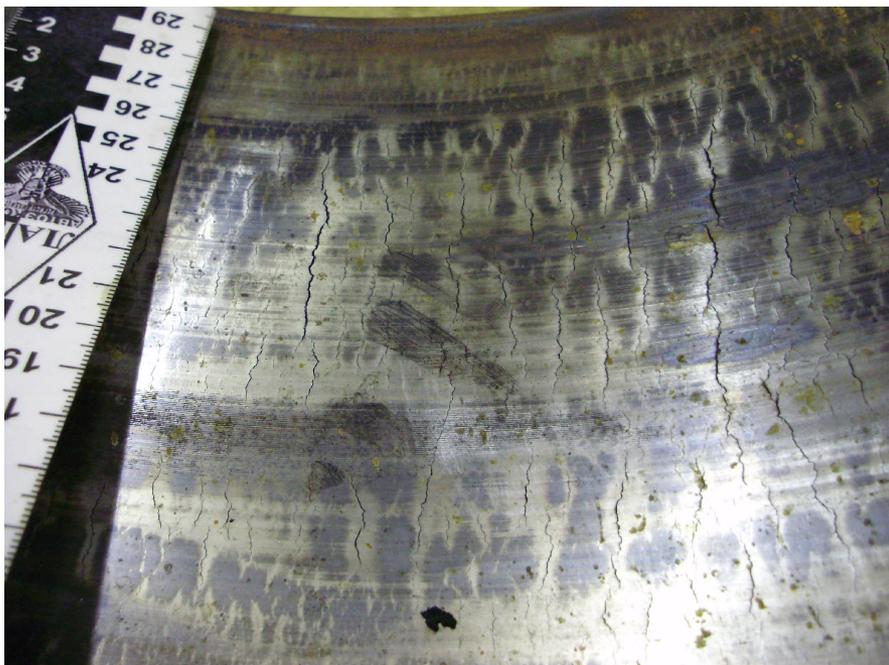
5. Эксплуатационные разрушения

(слайд 20-23)

20 Эксплуатационные разрушения зависят от многих факторов:

а - перегрев тормозного барабана автомобиля (цвета побежалости на всей рабочей поверхности барабана) и наличие большого количества трещин. **Перегрев вызван трением колодок о рабочую поверхность тормозного барабана. Это возможно при длительном торможении при спуске или нарушении работоспособности тормозной системы. Перегрев поверхности привёл к образованию трещин и дальнейшему разрушению. Данное разрушение носит эксплуатационный характер.**

б – тормозной диск из серого литейного чугуна с пластинчатой формой графита. Металлическая основа – перлит с включениями фосфидной эвтектики. **Фосфидная эвтектика** в сером чугуне обладает твердостью, износостойкостью, но достаточно **хрупкая, что и послужило причиной разрушения при ДТП**



а

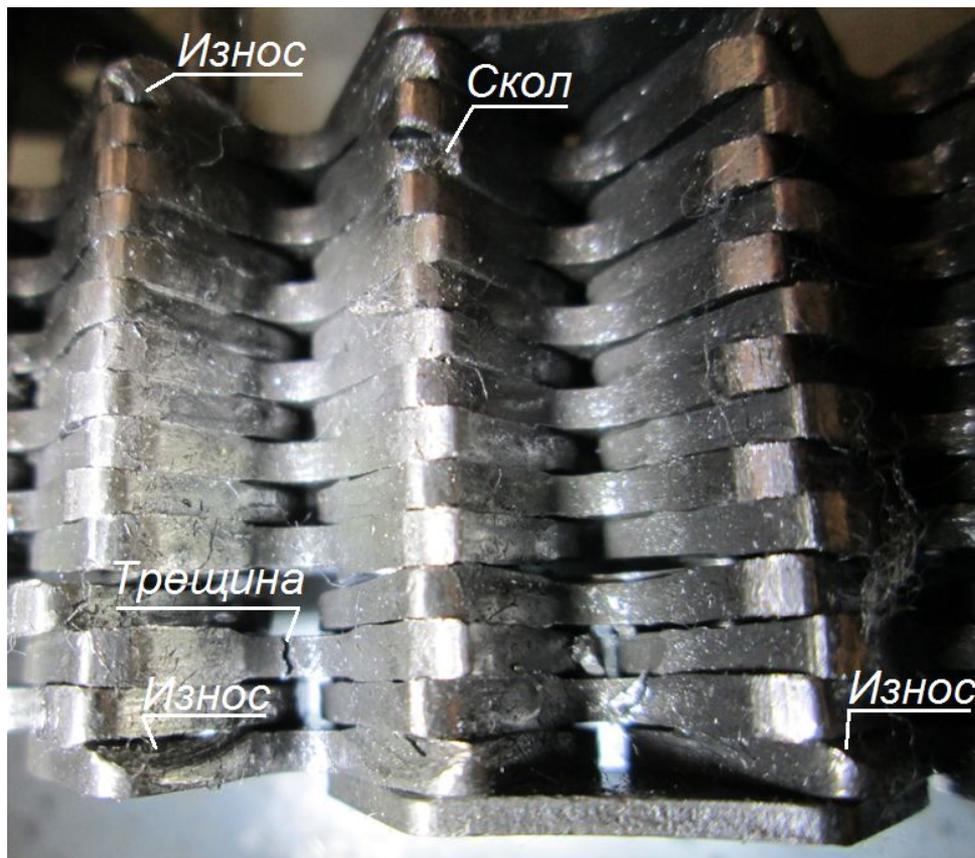


б

Рис.19. Разрушение тормозных дисков: а – цвета побежалости на рабочей поверхности тормозного барабана из чугуна СЧ-21, видны трещины на поверхности; б – трещины от удара при ДТП

Разрушение цепи раздаточной коробки автомобиля Mitsubishi L 200.

На всех звеньях цепи обнаружены сколы, износ и трещины внутренних звеньев по всей длине цепи



. Рис. 20. Сколы, износ и трещины внутренних звеньев цепи

(см. слайд 22, 23)

Разрушение цепи раздаточной коробки автомобиля Mitsubishi L 200.

Фрактографический анализ изломов разрушенных звеньев и штифтов цепи показал, что изломы не имеют признаков усталостного разрушения, материал соответствует требованиям к данному типу цепей



а



б

Рис.21. Разрушенные звенья цепи:

а – наружное звено имеет сильную пластическую деформацию;

б – внутреннее звено разрушено без явных следов пластической деформации

Разрушение цепи раздаточной коробки автомобиля Mitsubishi L 200.

Трещины и дальнейшее разрушение, вызваны ударными нештатными нагрузками, превышающими допустимую прочность элементов цепи. Это возможно при нарушении правил включения передачи, особенно включение полного привода в момент буксования автомобиля – приводит к созданию динамических нагрузок в раздаточной коробке, превышающих допустимую прочность деталей. *Причина выхода из строя - нарушено правил эксплуатации.*

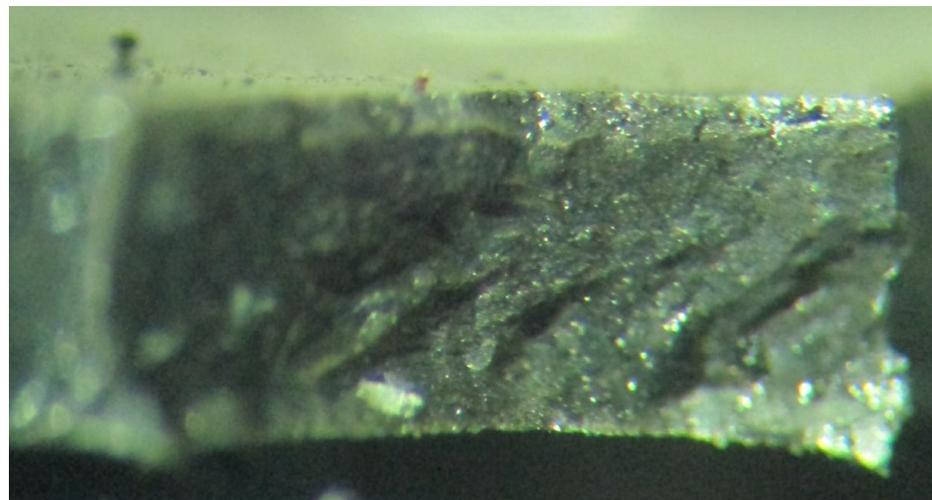
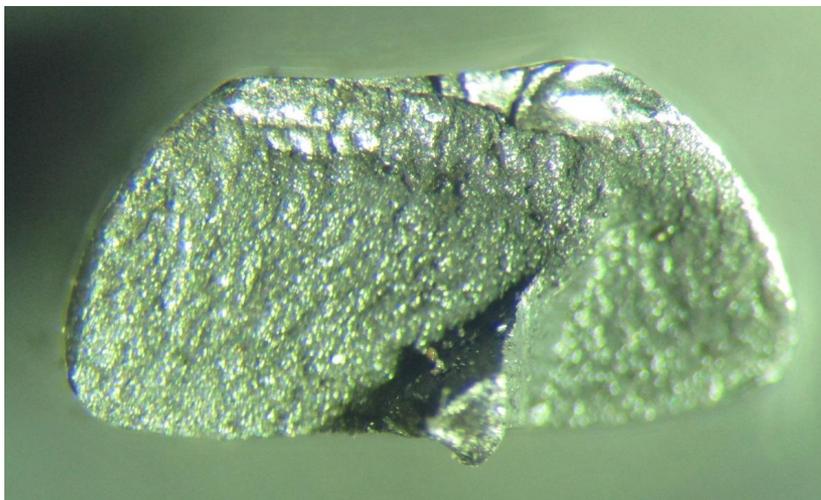
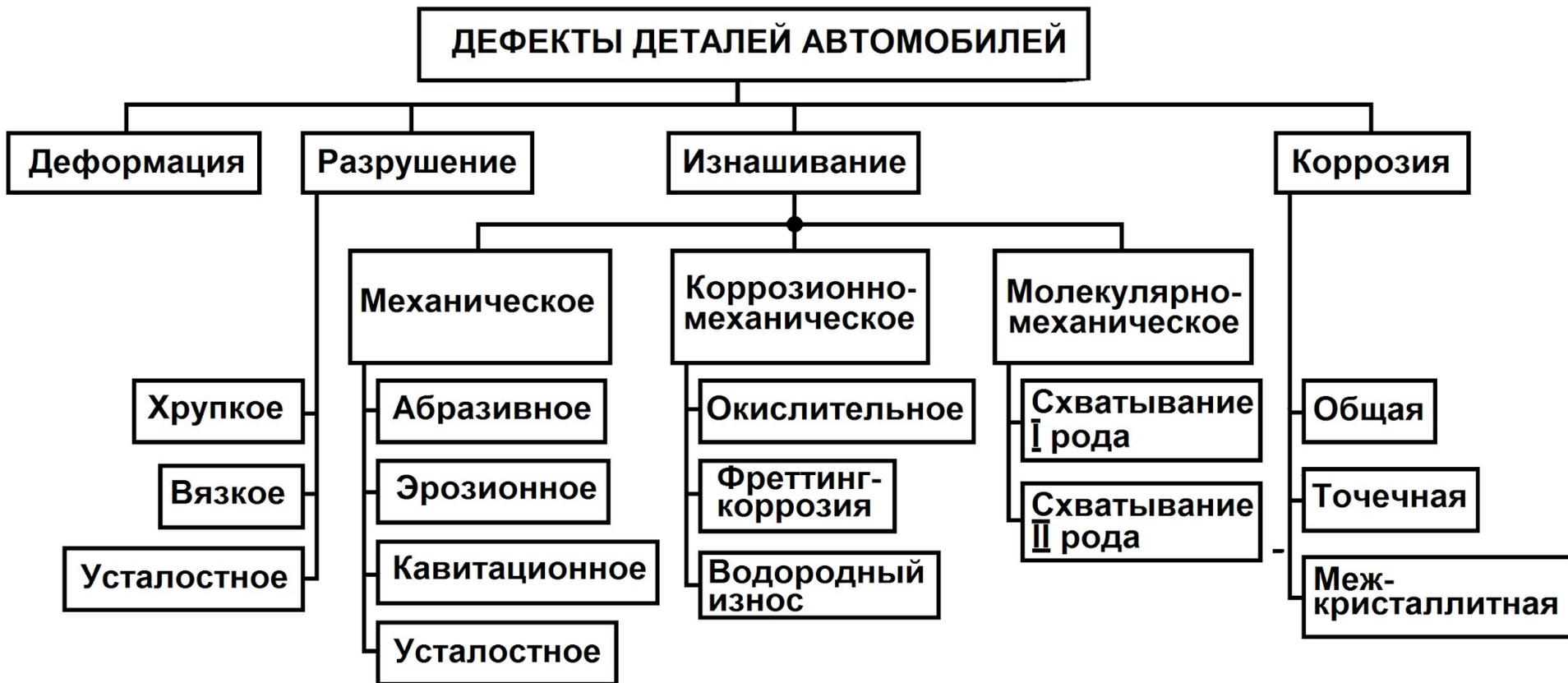


Рис.22. Фактуры изломов цепи:

а – излом штифта силовой, одномоментный. Блестящие участки в верхней части излома – деформированные (забитые) участки;

б – фактура излома раскрытой трещины звена цепи. Излом храповый (елочкой), одномоментный. Следы усталостного разрушения отсутствуют

II. Характерные виды дефектов деталей автомобилей (слайды 25-63)



По месту расположения все дефекты подразделяют **на наружные и внутренние.**

Наружные дефекты, такие как деформация, поломки, изменение геометрической формы и размеров, легко выявляют визуально или в результате несложных измерений.

Внутренние дефекты, такие как усталостные трещины, трещины термической усталости и т. п., выявляют различными методами структуроскопии деталей. В процессе структуроскопии деталей выполняется комплекс работ, состоящий в выявлении и характеристике дефектов, имеющих в деталях.

В таблице классифицированы характерные виды дефектов (отказов) деталей автомобилей, их признаки и возможные причины возникновения; а также приведены примеры типовых деталей с данными дефектами.

Характерные виды дефектов (отказов) деталей автомобилей

Виды дефектов (отказов)	Признаки дефектов	Возможные причины появления дефектов	Примеры типовых деталей с данным дефектом
ДЕФОРМАЦИЯ			
	Искажение формы детали, изменение размеров, нарушение зазоров в сопряжениях (изгиб, сжатие, вмятины, удлинение и т.д.), ползучесть (крип).	Нештатные ударные нагрузки. Недостаточно жёсткая конструкция. Перегрузки или длительное действие переменных напряжений. Повышение температуры, ползучесть материала	Тяги, рычаги, валы, зубья шестерен, шатуны, подшипники скольжения, залитые мягким антифрикционным сплавом; штанги, стержни клапанов
РАЗРУШЕНИЕ			
1. Хрупкое	Кристаллический излом без предварительной пластической деформации	Низкая пластичность материала. Дефекты структуры (металлургические, технологические, эксплуатационные). Наличие концентраторов напряжений, большие внутренние напряжения. Понижение температуры	Сварные конструкции, шатуны, валы, детали ходовой части тракторов и автомобилей
2. Вязкое	Волокнистый излом с предшествующей пластической деформацией	Перегрузка. Низкое качество материала. Несоответствующая структура, повышенная температура	Напряженные болты, пространственные конструкции, шатуны, валы, штанги
3. Усталостное	Наличие трех зон на поверхности излома (очага разрушения, зоны усталости и зоны долома)	Циклические напряжения выше предела выносливости. Наличие дефектов на поверхности. Растягивающие напряжения в поверхностном слое и технологические, конструктивные погрешности, вызывающие концентрацию напряжений (малые радиусы закруглений, надрезы и т. д.), низкая чистота обработки	Валы, шатуны, листовые рессоры, пальцы, пружины, зубчатые колеса, резьбовые соединения

Виды дефектов (отказов)	Признаки дефектов	Возможные причины появления дефектов	Примеры типовых деталей с данным дефектом
ИЗНАШИВАНИЕ			
1. Механическое			
а) абразивное	Образование на поверхностях деталей царапин, неглубоких борозд, шероховатости. Уменьшение размеров деталей	Воздействие абразивных частиц, попадающих в зону трения	Тормозные колодки, звенья гусениц, детали трансмиссии, рессорные пальцы, цилиндры, поршни, детали, работающие без смазки или при ограниченной смазке в пыльной атмосфере
б) эрозионное	Уменьшение размеров и изнашивание поверхности	Воздействие на поверхность изделий потоков газов, жидкости, твердых частиц (в жидкостных или газовых потоках), электрического тока, космических потоков раскаленных газов (явление абляции)	Детали гидронасосов, плунжерные пары, трубопроводы, глушители, сопла и лопатки реактивных двигателей, клапаны, электроды, обшивки космических кораблей и др.
в) кавитационное	Появление каверн (вырывов) глубиной от нескольких микрон до десятков мм. Вибрация соединений, расшатывание крепежных связей, проявление усталостных поломок	Изменение давления потока жидкости, вызывающее появление областей пониженного давления, в которых образуются пузырьки пара. При последующем повышении давления пузырьки разрушаются с гидравлическим ударом, наклепывая и разрушая поверхность изделия	Гребные винты, лопасти турбин, детали гидронасосов, трубопроводы, наружные поверхности гильз.
г) усталостное	Усталостное выкрашивание, появление «питтингов» (ямок) глубиной от долей мм до нескольких мм. В результате усталостного изнашивания нарушается нормальная работа сопряжения	Пульсирующее действие высоких контактных напряжений в результате переменного давления на поверхности трения при граничной смазке	Зубчатые колеса, подшипники качения, железнодорожные рельсы, пальцы и другие детали

Виды дефектов (отказов)	Признаки дефектов	Возможные причины появления дефектов	Примеры типовых деталей с данным дефектом
ИЗНАШИВАНИЕ			
2. Коррозионно-механическое			
а) окислительное	Изменение размеров деталей по мере износа. Поверхности трения имеют блестящий, гладкий вид	Образование и разрушение окисных пленок. Нормальный окислительный износ возможен при условии, что скорость разрушения защитных пленок примерно равна скорости их образования	Валы, пальцы, оси, подшипники скольжения и другие детали, работающие как при трении без смазки, так и при граничной смазке в условиях трения
б) фреттинг-коррозия	Образование на поверхностях контакта следов коррозии в виде налетов, пятен, язв и каверн	Малые взаимные перемещения колебательного характера в сопряженных соединениях в условиях окислительной среды. Характеризуется периодическим разрушением окисных пленок деталей и образованием вторичных структур	Листовые рессоры, заклепочные соединения, соединения со скользящей или прессовой посадками, болтовые соединения, втулки и другие детали
в) водородный износ	Появление царапин, борозд, уменьшение размеров	Выделение атомарного водорода при трении из смазки, топлива и его адсорбирование на поверхности с последующим возникновением химических соединений или твердых растворов	Шестерни, валы и другие детали
3. Молекулярно-механическое			
а) схватывание 1-го рода	Глубокие борозды (до 0,5мм) в направлениях перемещения трущихся поверхностей, вырывы металла с поверхности трения и другие повреждения	Трение скольжения с малыми скоростями, но высокими удельными давлениями, превышающими предел текучести при "сухом" и граничном трении	Клапанные детали гидравлических машин, подшипники скольжения, зубчатые колеса, поршни и т.д.
б) схватывание 2-го рода	Неглубокие борозды, царапины, следы оплавления и размазывания жидкого расплава по поверхности трения. Глубина разрушенной зоны - до 0,1 мм	Большие скорости трения и высокие удельные давления в процессе трения скольжения без смазки или при граничной смазке	Детали поршневой группы, втулки, направляющие и т.д.

Виды дефектов (отказов)	Признаки дефектов	Возможные причины появления дефектов	Примеры типовых деталей с данным дефектом
КОРРОЗИЯ			
1. Общая, или сплошная	Образование окислов в результате взаимодействия с внешней средой по всей поверхности детали	Взаимодействия с агрессивной внешней средой или с воздушной атмосферой	Стальные, чугунные, латунные и другие детали, образующие химические соединения с кислородом
2. Точечная, или пятнистая	Отдельные локальные повреждения в виде каверн, язв, точек, пятен, налетов	Неоднородные по структуре или составу материалы с разным сопротивлением коррозии отдельных составляющих	То же
3. Межкристаллитная	Коррозия по границам зерен металла Понижение прочности и пластичности, потеря металлического звука при ударе	Выпадение легирующих элементов (например, хрома) из твердого раствора, обеднение защитным элементом границ зерен, создание благоприятных условий для продвижения кислорода в глубь детали	Клапаны двигателей. Детали из хромоникелевых сталей аустенитного класса и другие детали

1. ДЕФОРМАЦИЯ

Деформация

Деформация материала детали происходит в результате приложения нагрузки и отражается изменением формы и размеров деталей. Повреждение деталей происходит в результате пластической деформации, и выражаются в виде изгибов, вмятин и скручиваний.

При изгибах и вмятинах нарушается не только геометрическая форма деталей, но и происходит ее разрушение,



Рис.30. Разрушенная петля дышла прицепа. Разрушение произошло с сильной пластической деформацией от изгибающей нагрузки



Рис. 31. Рулевая тяга разрушилась при ДТП, в месте разрушения сильный изгиб резьбовой части. Фрагменты излома не совмещаются. Это свидетельствует об ударной нагрузке, приложенной с большой скоростью

Деформация

Разрушение шарового пальца произошло с большой пластической деформацией вследствие приложения ударной нагрузки, превышающей допустимую прочность материала, из которого изготовлен шаровой палец.



Рис.32. Вязкое разрушение шарового пальца рулевого наконечника.
Слева представлен новый шаровой палец (образец-представитель)

2. РАЗРУШЕНИЕ

В зависимости от характера нагружения и исходного строения материала деталей бывают **хрупкий, вязкий и усталостные изломы.**



а



б



с

Хрупкий излом

Хрупкое разрушение буксирного крюка автомобиля КАМАЗ:

а – общий вид; б – начало разрушения;
с – долом

Хрупкий излом характеризуется полным отсутствием или незначительной величиной пластических деформаций. Причинами хрупкого излома чаще всего служат хладоломкость материала детали, наличие концентраторов напряжений в опасном сечении и мгновенное приложение нагрузки. При хрупком изломе в зоне разрушения хорошо наблюдается кристаллическое строение материала,

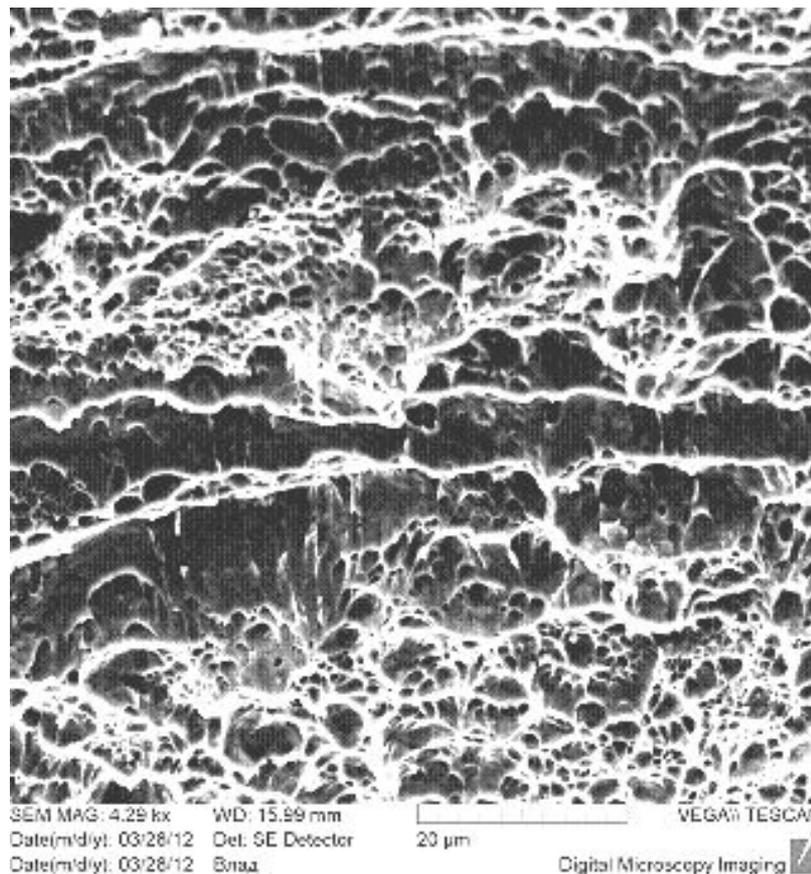
Излом крюка является единовременным или протекающим в короткий промежуток времени, произошёл из-за изгибающей боковой нагрузки, возникающей во время маневров при движении

Вязкий излом

Вязкий излом обусловлен наличием макропластической деформации. Разрушение детали при вязком изломе – результат резкого возрастания приложений статической нагрузки. **Вязкий излом появляется в результате превышения предела текучести материала детали.** На поверхности вязкого излома наблюдаются следы пластической деформации. На рис. показан разрушенный поршневой палец автомобиля Mazda CX-76, методом сканирующей электронной микроскопии подтверждён силовой вязкий характер разрушения.

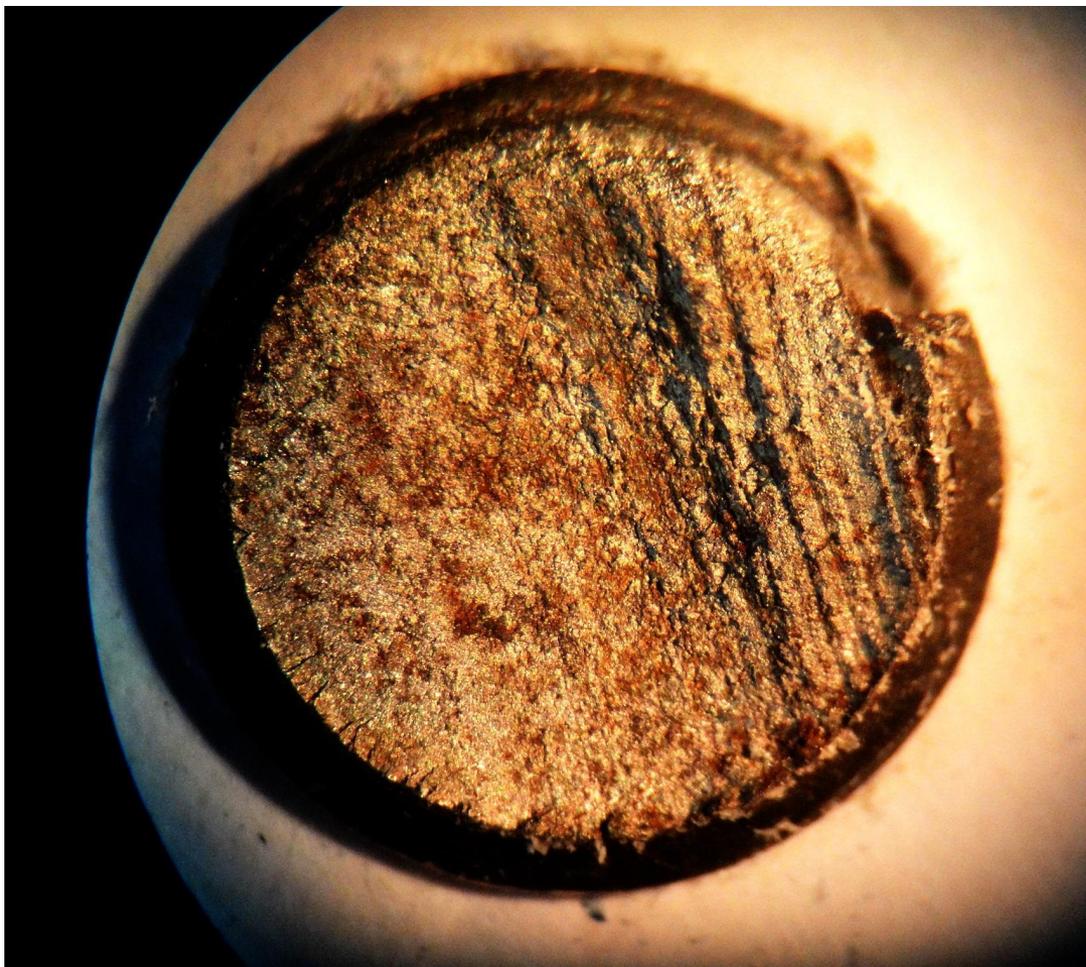


а



б

Вязкий излом поршневого пальца автомобиля Mazda CX-7 из стали 20X:
а – общий вид; б – РЭМ. x1500



Усталостное разрушение шпильки натяжного ролика

Усталостные изломы возникают при напряжениях ниже предела текучести.

Процесс начинается с зарождения усталостной трещины, появлению которой способствует наличие концентратора напряжений в основном сечении детали.

На фото показан усталостный излом шпильки натяжного ролика автомобиля VOLKSWAGEN PASSAT, изготовленной из прутка хромистой конструкционной стали, аналогичной отечественной стали марки 40Х.

Разрушение началось от поверхности впадины между вторым и третьим витком резьбы. Усталостные трещины (многоцикловая усталость) росли с левой стороны. Затем развилась малоцикловая усталость. Резьба со стороны долома примята,.

Причиной разрушения является повторное использование шпильки при ремонте ГРМ. В деталях крепежа неизбежно развиваются усталостные трещины, диагностировать которые в условиях сервисной организации не представляется возможным.

Усталостный излом



Усталостный излом шатуна в месте, где отверстие под шатунный болт почти вышло на наружную поверхность. Микротрещины (очаги разрушения) расположены в верхней части сечения – указаны стрелками

3. ИЗНАШИВАНИЕ

Самый распространенный вид неисправностей деталей автомобилей – износы (80%). Изнашивание бывает механическое, коррозионно-механическое и молекулярно-механическое.

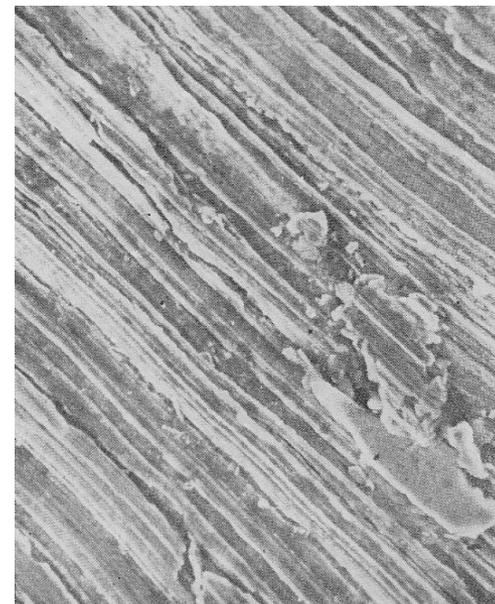
К механическому изнашиванию относятся: **абразивное, эрозионное, кавитационное и усталостное изнашивание**

а) Абразивный износ

Абразивный износ возникает в подвижных сопряжениях в результате царапающего и режущего действия твердых абразивных частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Закрепленное состояние абразивных частиц имеет место на *дисках сцеплений и тормозных колодках автомобилей*. Износ абразивными частицами, находящимися в свободном состоянии, подразделяется на: **гидроабразивный износ** – результат воздействия твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости и перемещающихся относительно изнашивающихся деталей; **газоабразивный износ** – результат воздействия твердых частиц, увлекаемых газом (воздухом)



а



б

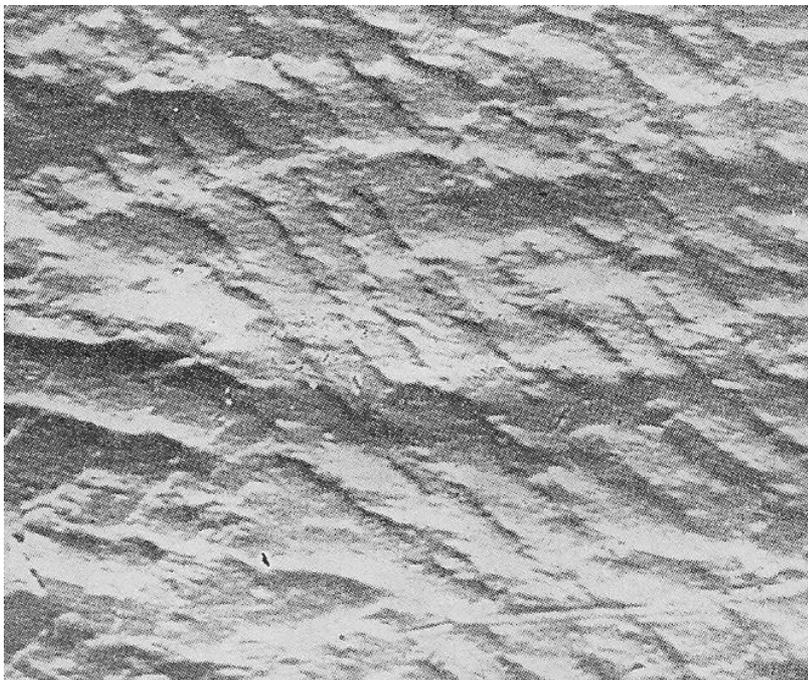
Следы абразивного износа на **зубьях ведущей шестерни главной передачи (а)**;
Остатки стружки и осколки, которые ещё частично связаны с основным металлом (б).

РЭМ X550

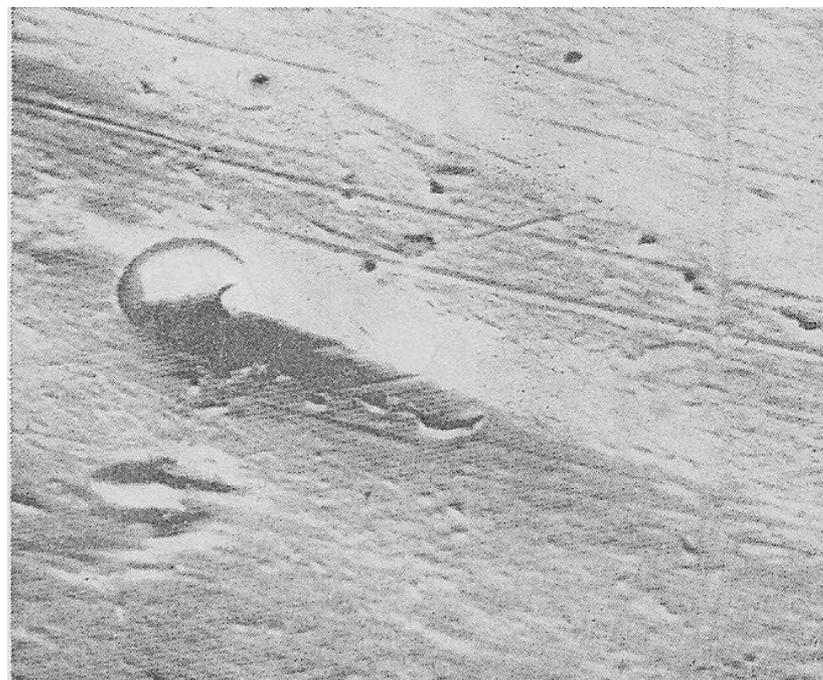
В производственных условиях остатки стружки и осколки могут осыпаться.

б) Эрозионное изнашивание

Эрозия металлов – это постепенное послойное разрушение поверхности металлических материалов под влиянием механических воздействий или электрических разрядов (электроэрозия). Эрозия металлов возникает при трении поверхностей, износе, кавитации, а также при воздействии на поверхность сильных потоков – струй (газовых, жидкостных), особенно при высоких температурах.



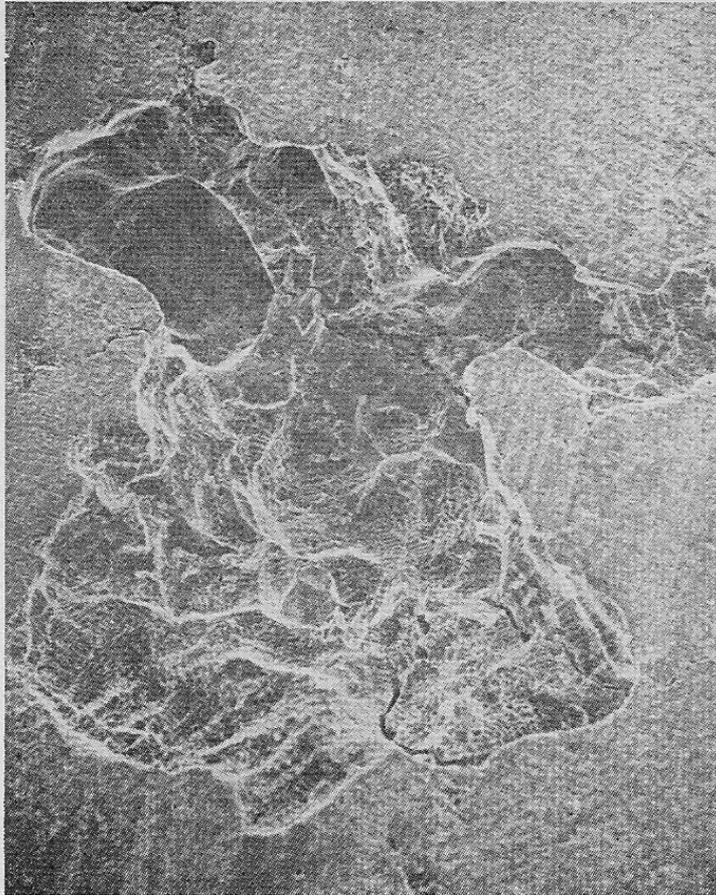
а



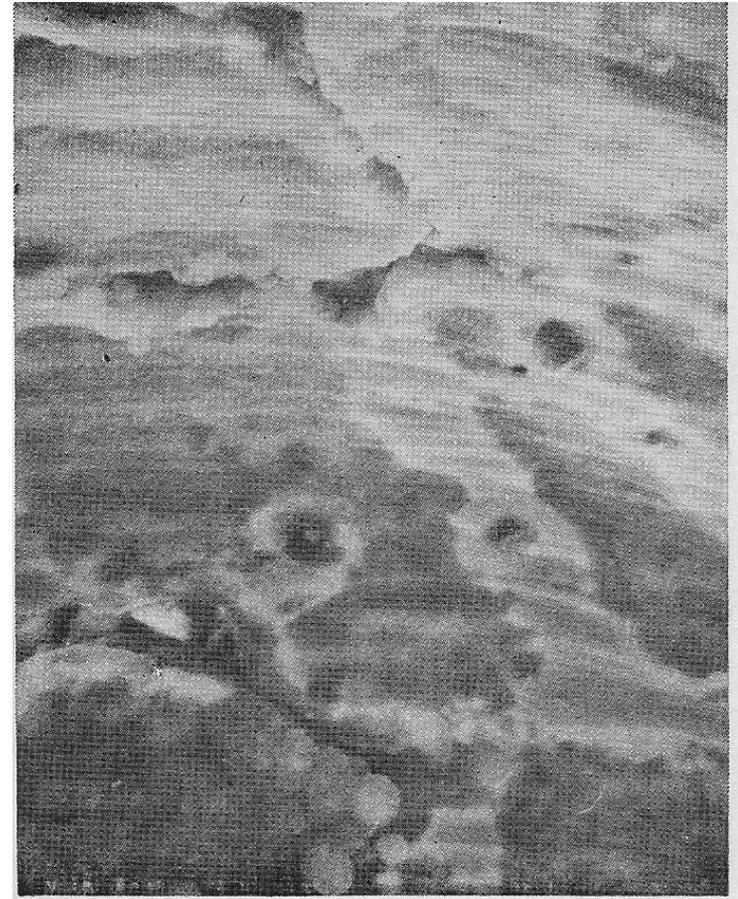
б

Эрозия на конической поверхности клапана, вызванная перемещающейся с циркулирующим маслом частицей алюмосиликата. Аустенитная хромоникелевая сталь была сильно механически изношена. В результате возникли направленные вдоль движения потока канавки, **а – х500**.

При большом увеличении (**б - х900**) можно обнаружить возвышение в объеме за твёрдым включением. Кроме того, возникают рифлёные структуры, внешне подобные тем, которые потоки воздуха или воды создают на песке (**а**). РЭМ



а) x60



б) x2400

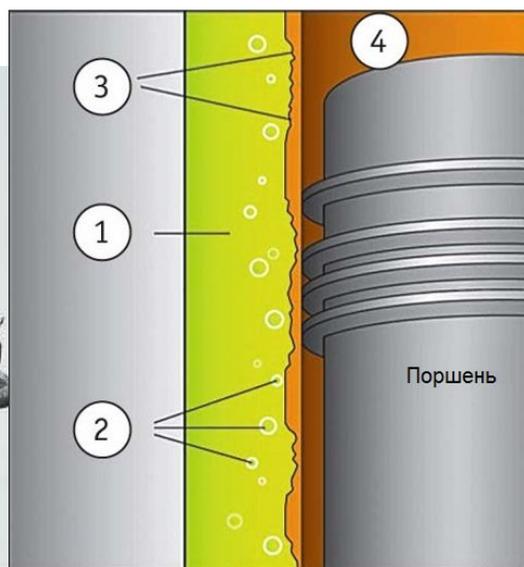
Эрозия на поверхности вкладыша подшипника скольжения из трёхкомпонентного сплава, возникшая под воздействием содержащегося в масле песка. Типичным признаком являются канавки, вытянутые в направлении движения потока

в) Кавитационное изнашивание

Кавитационное изнашивание металла происходит в результате воздействия на его поверхность микроударных нагрузок при схлопывания пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости



а



б



в

Кавитация гильзы автомобиля и и схема процесса кавитации:

а – блок двигателя с гильзами;

б – схема процесса кавитации: **1** – охлаждающая жидкость; **2** – кавитационные пузырьки; **3** – эрозия металла; **4** – гильза цилиндра «мокрого» типа;

в – следы кавитации на поверхности гильзы

Кавитационное повреждение подшипников

Кавитация, или правильнее, *кавитационная эрозия*, не вызывает аварии подшипника, но результатом ее является пятнистый вид поверхности подшипника. Обломки слоев подшипника, образовавшиеся в результате кавитационной эрозии, попадают между шейкой вала и покровным слоем и впечатываются в него



Прогрессирующая кавитационная эрозия алюминиевого шатунного подшипника
вблизи поверхности разъема

Кавитационная эрозия – результат действия микроструй высокого давления, образующихся в момент схлопывания пустот в объеме масла в зоне отрицательного давления.

В масле в подшипниках отрицательные давления возникают в двух случаях – 1)при вибрации и 2)наличии быстро разбегающихся трущихся поверхностей, разделенных масляной пленкой. Разрыв непрерывной жидкой фазы в области пониженных давлений порождает образование пустот в виде пузырьков, которые с огромной скоростью схлопываются при попадании в область повышенных давлений. В этот момент образуется реактивная микроструя, несущая огромную (для размеров пузырька) энергию. Ее направление и удар могут быть направлены в любую сторону, но если струя попадает на поверхность мягкого покровного слоя подшипника, она каккумулятивный снаряд, разрывает ее. Микрооспины разрушений постепенно разрастаются, объединяются и становятся заметны невооруженным глазом.

В микротрещины между поврежденным покровным слоем и вкладышем проникает масло, ослабляя силы сцепления покрытия с вкладышем, в результате через некоторое время *крупные куски покровного слоя отваливаются и уносятся потоком масла, вызывая впоследствии вторичные разрушения, или вбиваются в еще целую поверхность покрытия,* меняя ее прочностные и эксплуатационные характеристики. Подшипники выходят из строя.

45 Кавитационная эрозия подшипников происходит в результате:

- флуктуации (колебаниям) давлений в потоке масла из-за особенностей поверхности подшипника и шейки вала, таких как канавок и сверлений;
- инерционных эффектов масла внутри сверлений шатуна, используемых для подачи масла к шатунному пальцу и для охлаждения поршня;
- вибрации шейки вала в пределах зазора подшипника.

Зона скопления кавитационных повреждений в основном сосредоточена на верхнем шатунном подшипнике из-за упругой деформации верхнего бугеля при различных тактах двигателя, вызывающей образование пустот и их схлопывание в масляной пленке.!!!! На образование пустот влияет сверление шейки вала для подачи масла к подшипнику. Кавитационная эрозия чаще всего наблюдается на алюминиевых подшипниках из-за их более низкой усталостной прочности



а



б

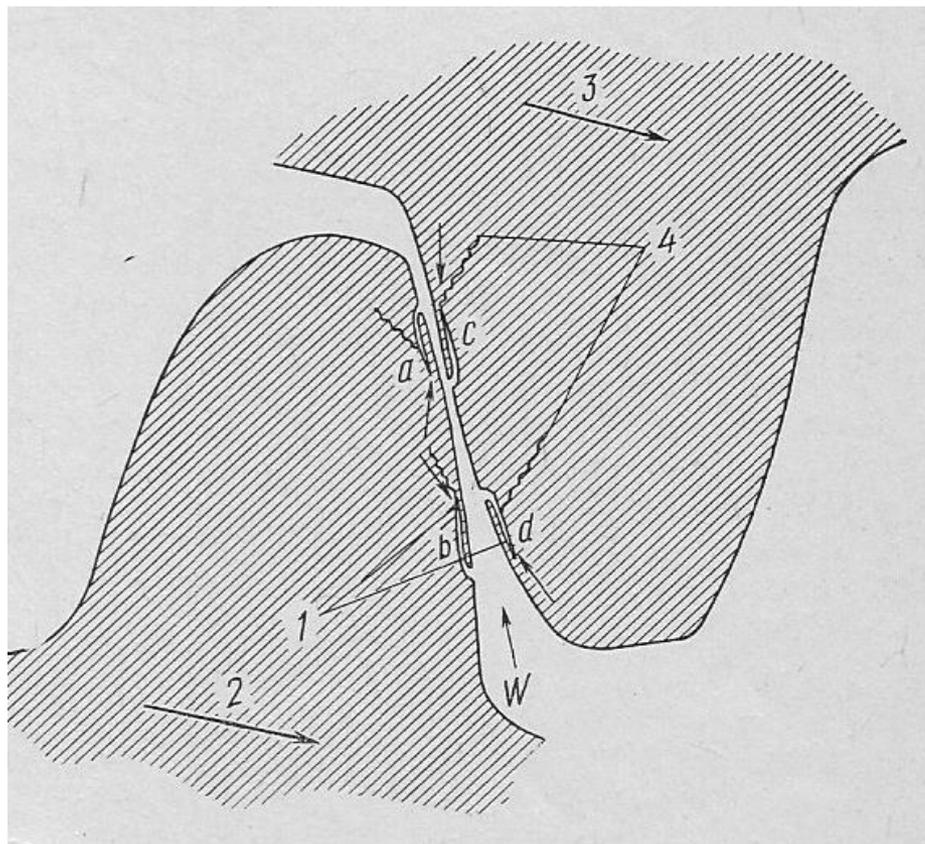
Кавитационное повреждение: а – вкладыша подшипника; б – –подшипника скольжения с пузырьками пара, образованными в масле

г) Механическое усталостное изнашивание (образование питтингов) – преждевременные разрушения деталей под действием знакопеременных или циклических нагрузок.

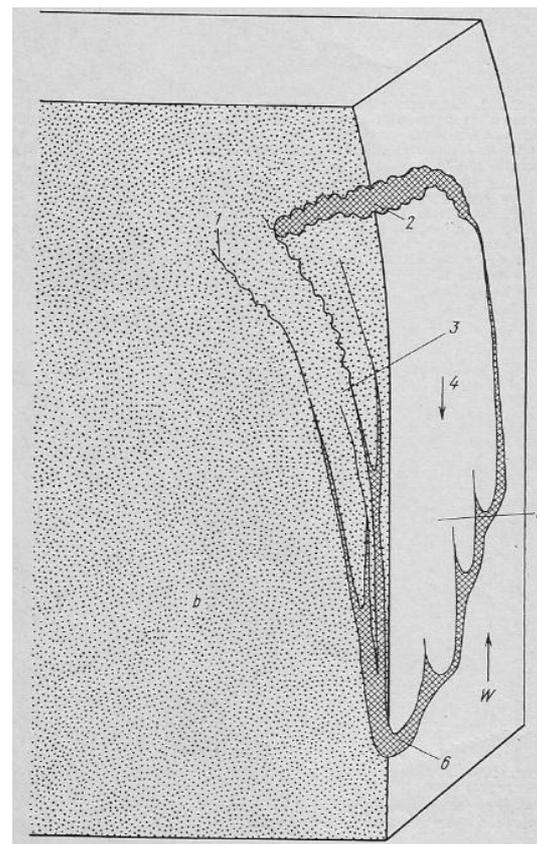
Сущность изнашивания в том, что внутри или на поверхности металла образуются микроскопические трещины, которые увеличиваются под действием нагрузок, ослабляя поперечное сечение детали. Усталостный износ зависит как от **конструктивных факторов детали** (резкие переходы от одного сечения к другому, выточки, канавки, отверстия), так и от **технологических** (чистоты обработки поверхностей, нанесения на поверхность деталей покрытий и т.д.).

К усталостному износу относится также разрушение поверхности деталей при **трении качения**. Этот износ называется **осповидным**, т.е. на поверхности трения образуются микротрещины с местным выкрашиванием (распространен на зубьях шестерен, шариковых и роликовых подшипниках), **слайд 45-49,**

Механическое усталостное изнашивание (образование питтингов)



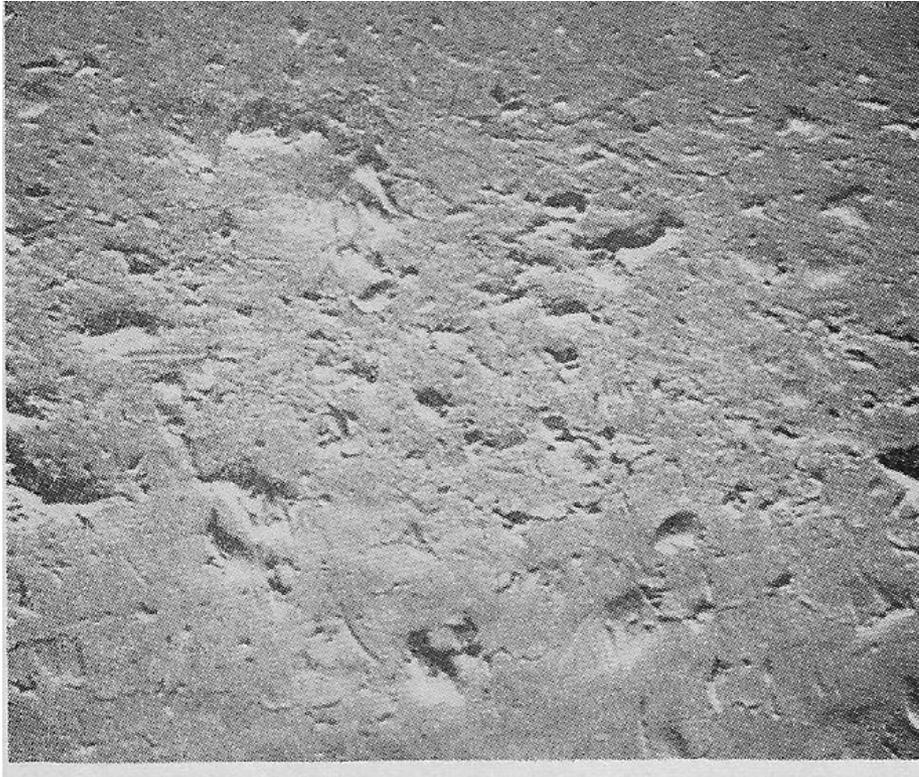
а



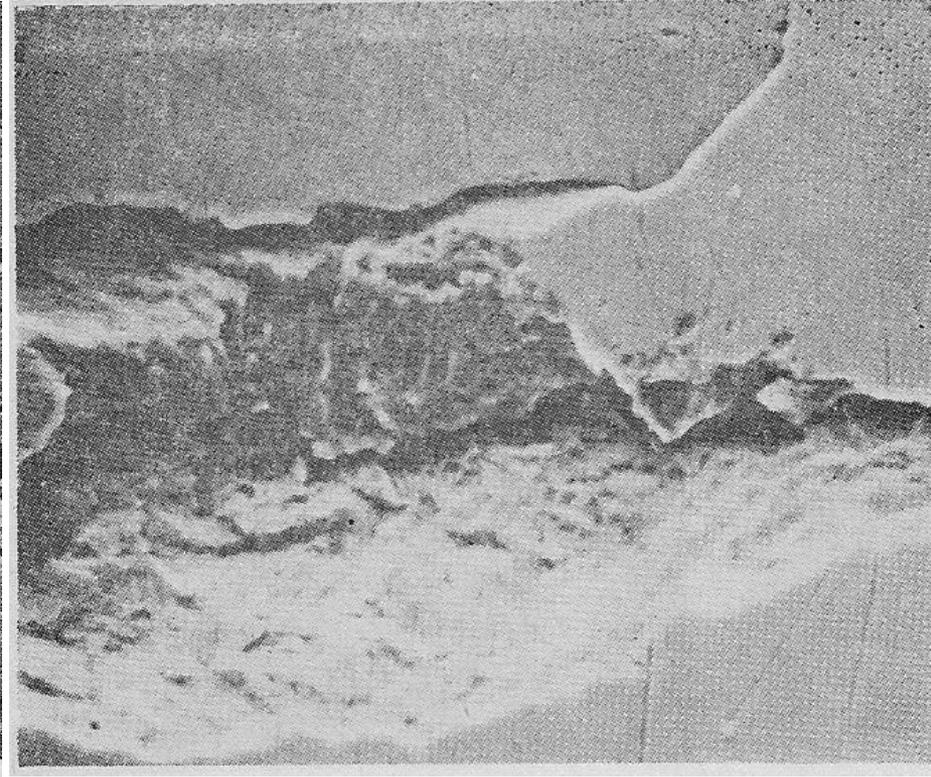
б

Образование питтингов: а – на боковых сторонах зубьев шестерен:

1 – деформационные языки; **2** – ведущее зубчатое колесо; **3** – ведомое; **4** – усталостные изломы;
б – на ножке зуба ведущего зубчатого колеса; **С** –образный след усталостного излома на поверхности:
1 – усталостное разрушение; **2** – излом под действием статической нагрузки; **3** – пакеты скольжения, разрушение сдвигом, шиферная структура; **4** – тангенциальная сила трения, отрицательное проскальзывание; **5** – деформационные языки на боковой стороне зуба; **6** – масло; **W** – направление (вдоль боковой стенки зуба) перемещения нагруженной точки соприкосновения



а



б

Усталостное выкрашивание зубчатого колеса:

а – на ножке с боковой стороны зуба шестерни из-за перенапряжения по начальной окружности возникли питтинги (расположены полосой). РЭМ; х45;

б – питтинги на боковой поверхности зуба шестерни. Усталостный характер излома проявляется в виде образования характерного «вырыва», распространяющегося в радиальном направлении, а также в С-образном следе трещины на поверхности до вырыва. РЭМ. х600

Двигатель автомобиля Great Wall во время работы подвергся **длительному масляному голоданию** из-за недостаточного количества моторного масла в системе смазки, что привело к катастрофическому износу шестерни привода масляного насоса, прекращению подачи масла к парам трения и выходу из строя двигателя



а



б

Износ зубьев из-за «масляного голодания»

а – шестерня привода масляного насоса распределительного вала автомобиля Great Wall; б – ведущая шестерня главной передачи



а



б

Усталостное изнашивание:

а – рабочей поверхности ролика-натяжителя механизма ГРМ;

б – подшипника скольжения



а

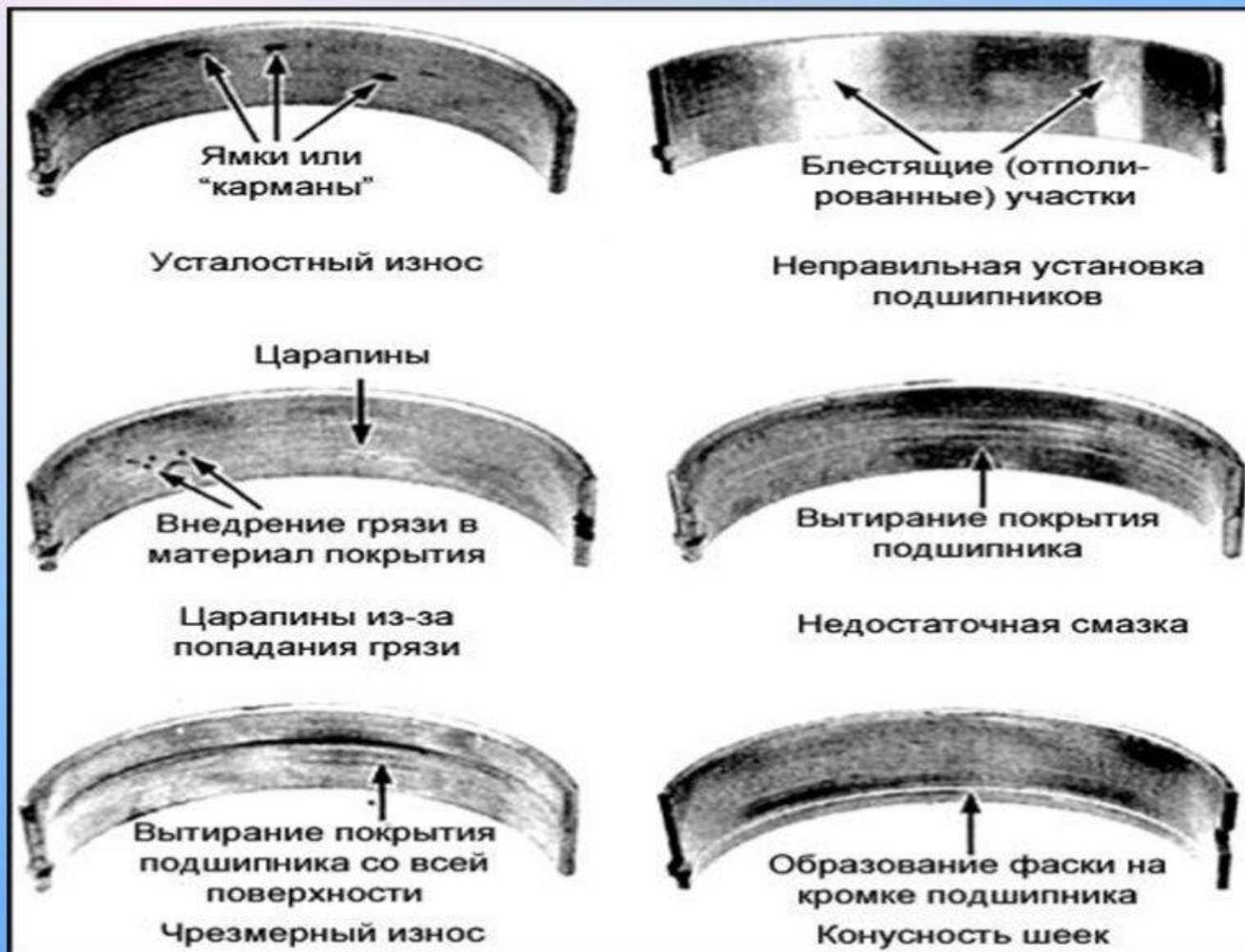


б

Усталостный износ (питтинг):

а – ролики подшипника; б – обойма подшипника

Износ коренных и шатунных подшипников

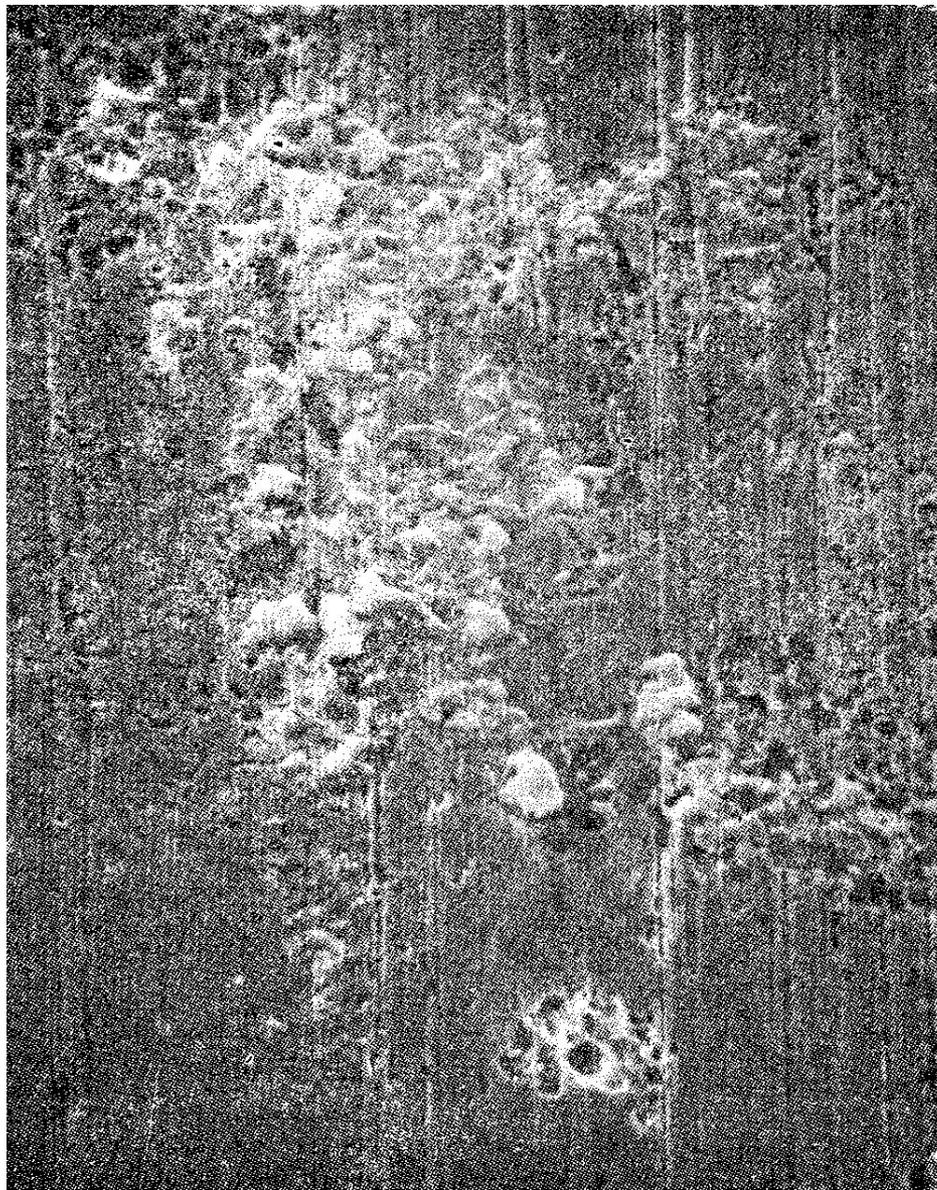


4. Коррозионно-механическое изнашивание

Для этого вида износа характерны образование пленок окислов, химических соединений на поверхностях трения и последующее механическое разрушение. Сюда относятся ***окислительный, водородный износы и фреттинг-коррозия.***

Воздух, попавший на слой металла при пластическом деформировании, вызывает окислительный износ, происходящий при трении скольжения и трении качения. В первом случае этот износ является ведущим, во втором – сопутствующим осповидному износу

а) Окислительное изнашивание



При окислительном изнашивании образовавшиеся очень хрупкие соединения железа с кислородом под действием сил трения выкрашиваются. Это приводит к уменьшению размеров сопрягаемых деталей и увеличению зазоров между ними

Шлифовочный прижог на боковой стороне зуба шестерни из стали **20МХ4**. Характерными являются пузырьчатые продукты окисления, которые в отличие от неповреждённой поверхности кажутся светлыми. Отчётливо видно, что пузыри как бы прерывают шлифовочные риски

б) Фреттинг - коррозия

Ресурс работы ответственных узлов часто ограничивается преждевременным износом или разрушением контактирующих деталей в результате *фреттинг-коррозии*



Фреттинг - коррозия – это коррозия, возникающая на контактирующих металлических поверхностях при минимальном повторяющемся (локальном) перемещении этих поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды. Причиной таких перемещений могут быть вибрации, динамические нагрузки, периодический изгиб или скручивание сопряженных деталей.

Фреттинг-коррозии подвержены болтовые соединения, посадочные поверхности подшипников качения; шлицевые, шпоночные, заклепочные, винтовые соединения; листовые рессоры. Вследствие развития фреттинг-коррозии изменяется шероховатость поверхности, образуются каверны и поверхностные микротрещины.

Этому виду изнашивания подвержены как углеродистые, так и коррозионно-стойкие стали в парах трения сталь – сталь, сталь – олово или алюминий, сурьма, чугун и многие другие пары трения. Более склонными к проявлению фреттинг-коррозии являются одноименные материалы

Коррозионно-механическое изнашивание

Коррозионный износ обычно появляется у деталей машин и установок, испытывающих непосредственное действие воды, воздуха, химических веществ, температуры. Если температура воздуха в пространстве (зоне) применения АТ неустойчива, то каждый раз при ее повышении содержащиеся в воздухе водяные пары, соприкасаясь с более холодными металлическими деталями, осаждаются на них в виде конденсата. Это вызывает коррозию металла, то есть соединение металла с кислородом воздуха.

Под влиянием коррозии, металл приобретает губчатую поверхность, теряет механическую прочность.

Обычно коррозионный износ сопровождается и механическим в силу сопряжения одной детали с другой. В этом случае происходит так называемое коррозионно-механическое изнашивание, то есть образуется комплексный износ.

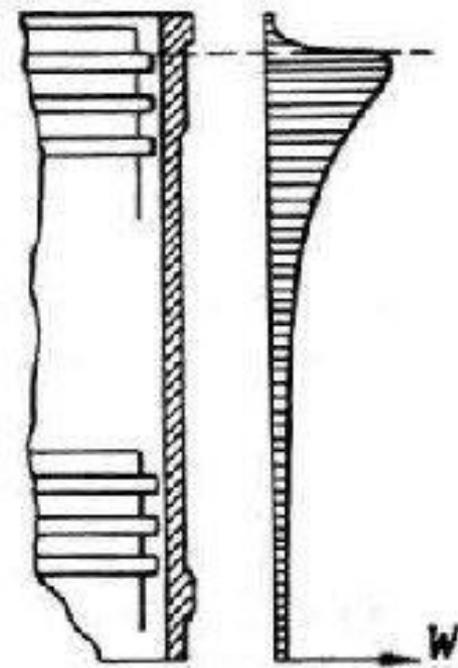
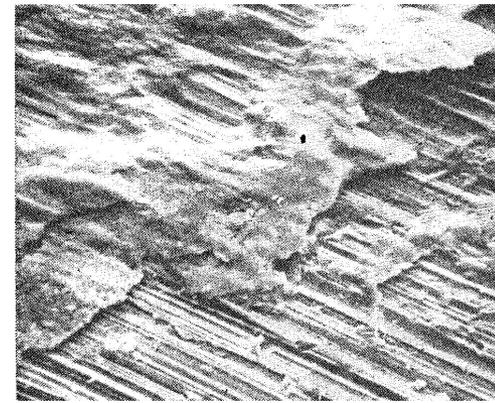
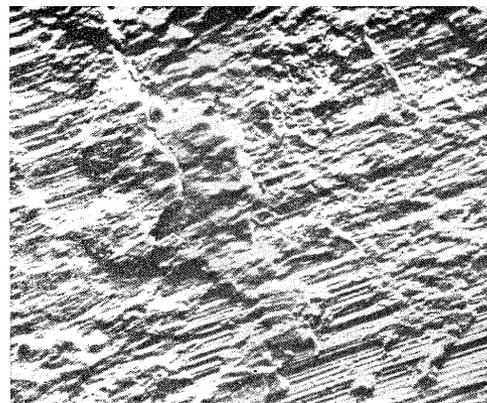
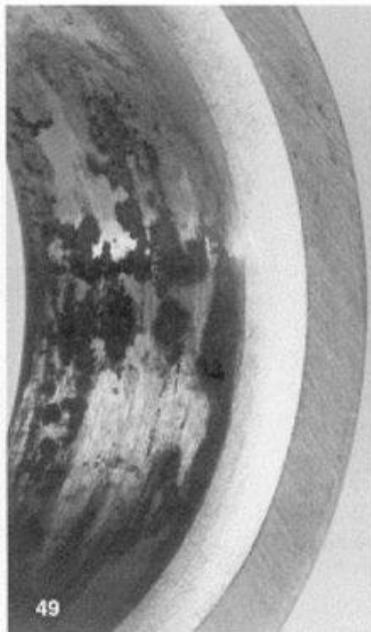
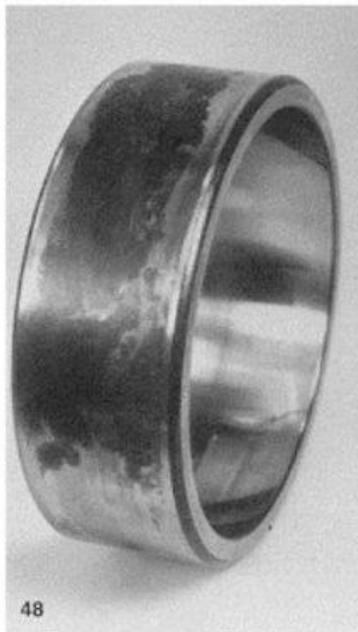


Рис. График
неравномерности
износа (W) цилиндра по
высоте

53 Вследствие развития фреттинг-коррозии изменяется шероховатость поверхности, образуются каверны и поверхностные микротрещины.

Этому виду изнашивания подвержены как углеродистые, так и коррозионно-стойкие стали в парах трения *сталь – сталь, сталь – олово или алюминий, сурьма, чугун и многие другие пары трения. Более склонными к проявлению фреттинг-коррозии являются одноименные материалы.*



а

б

x180

x240

- **Фреттинг-коррозия стального сферического роликоподшипника:**
- **а** – общий вид; **б** - поверхность окислена и имеет террасовидное строение. Форма канавок в окисленном слое указывает на направление движения при качении, РЭМ

в) Водородное изнашивание

Водородное изнашивание – процесс разрушения металлического элемента пары трения вследствие поглощения металлом водорода. Водородное изнашивание зависит от концентрации водорода в поверхностных слоях трущихся деталей. Он выделяется из материалов пары трения или окружающей среды (смазочного материала, топлива, воды и др.) и ускоряет изнашивание.

Водородное изнашивание проявляется в той или иной степени практически во всех узлах трения. Разрушению этого вида подвержены детали из стали, чугуна, титана и других металлических материалов. Вследствие водородного изнашивания часто выходят из строя коленчатые валы двигателей. Во влажном и холодном климате процесс водородного разрушения интенсифицируется, поэтому, например, в условиях Севера техника изнашивается в несколько раз быстрее, чем в средней полосе.

Водородное изнашивание не имеет общих черт с водородной хрупкостью стали ни по источникам наводороживания, ни по интенсивности и характеру распределения водорода в стали, ни по характеру разрушения, поскольку оно связано только с процессом трения и обусловлено им.

Для водородного изнашивания характерны высокая локальная концентрация водорода в поверхностном слое стали, возникающая вследствие больших градиентов температуры и напряжений при трении, которые обуславливают явление накапливания и особый характер роста трещин, приводящий к сплошному разрушению слоя. Водородное изнашивание вносит новые представления о механизме хрупкого разрушения. автомобильного транспорта (водородное изнашивание резко снижает срок службы тормозных накладок, тормозных барабанов и дисков сцепления, а также лопаток бензиновых насосов и других деталей агрегатов автомобиле)

Водородное изнашивание



а



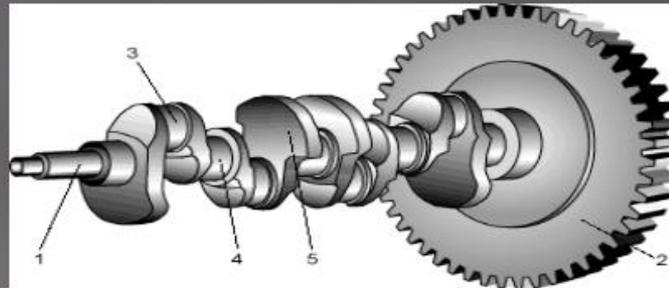
Фрикционная
накладка
ведомого диска
со стороны
выжимного
диска предельно
изношена

б

Водородный износ детали (а) и фрикционной накладки ведомого диска узла сцепления автомобиля Ssang Yong Kyron (б)

Изнашивание при заедании

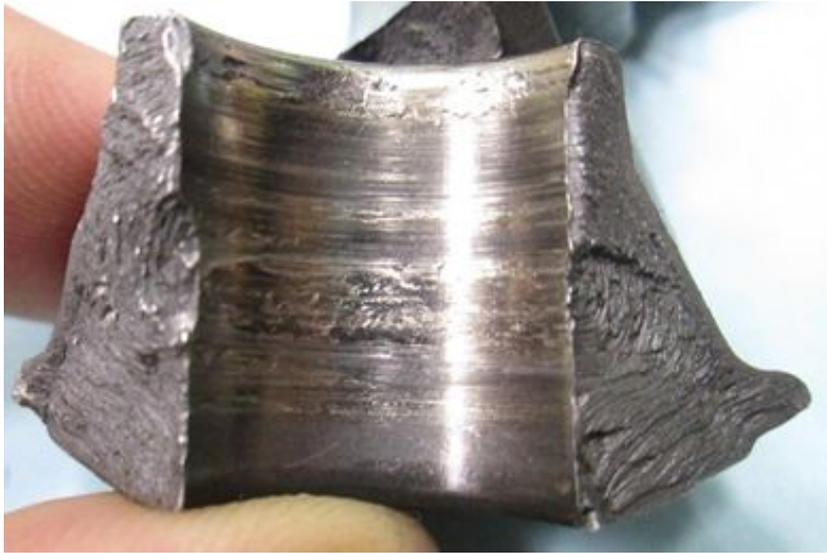
Такое изнашивание происходит при возникновении местных контактов между трущимися поверхностями, на которых вследствие чрезмерных нагрузок и скорости движения, а также недостатка смазочного материала происходит разрыв масляной плёнки, сильный нагрев и «сваривание» частиц металла. В результате этого, например, происходит заклинивание коленчатого вала и проворот вкладышей при нарушении работы смазочной системы двигателя.



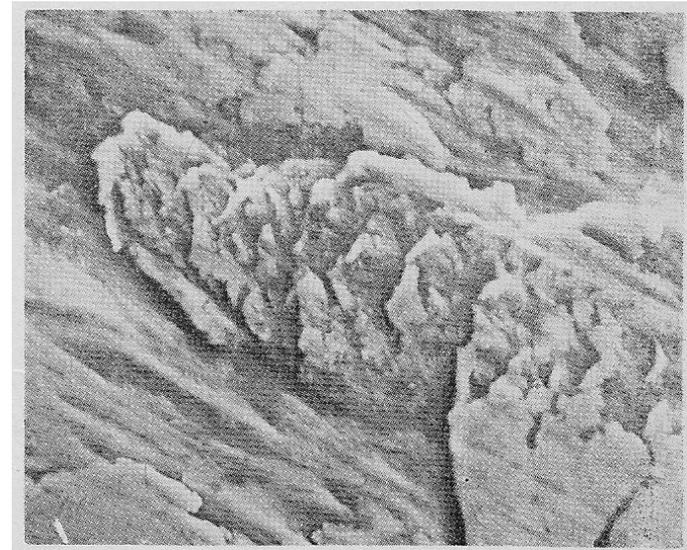
Молекулярно- механическое изнашивание

Этот вид износа имеет место в подвижных сопряжениях, сближенных в точках контакта настолько, что вступают в действие силы молекулярного сцепления. В результате появляются прочные металлические связи в точках контакта сопрягаемых деталей, получившие название «схватывание». Различают схватывание первого и второго рода.

Схватывание первого рода возникает в сопряжениях, работающих при малых скоростях, больших удельных нагрузках и при незначительном повышении температуры. При этом происходит пластичное деформирование, разрушение и удаление частиц с трущихся поверхностей



а



б

Схватывание первого рода: а – в изломе видно волокнистое строение. Следы заедания сателлита и оси сателлитов. б – следы заедания на поверхности. Шероховатые структуры возникли вследствие кратковременного приваривания (схватывания) при трении и последующего отрыва непосредственно соприкасающихся участков поверхностей, РЭМ. x1100

Схватывание второго рода наблюдается в сопряжениях, работающих при высоких скоростях скольжения, повышенных удельных нагрузках со значительным повышением температуры. В результате значительно снижается твердость поверхностного слоя, разрушаются, размазываются и удаляются частицы металла. Такой износ приводит к аварии



а



б

Схватывание второго рода: а – износ рабочей поверхности оси сателлита, наволакивание и вырыв металла; б – следы заедания и переноса материала на внутренней поверхности сателлита

6. Коррозионное разрушение



Коррозия (от лат. *corrosio* - разъедание) - это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Коррозионные разрушения в этом случае развиваются при воздействии на поверхности таких агрессивных веществ, как химически активные газы, кислотные примеси смазочных материалов, почва и др.

По типу агрессивных сред, в которых протекает процесс разрушения, коррозия может быть следующих видов: газовая и атмосферная коррозия; коррозия в неэлектролитах и электролитах; коррозия блуждающим током.

По характеру разрушения: сплошная коррозия, охватывающая всю поверхность (равномерная; неравномерная; избирательная); локальная (местная) коррозия, охватывающая отдельные участки (пятнистая, язвенная, точечная (или питтинг), сквозная, межкристаллитная).

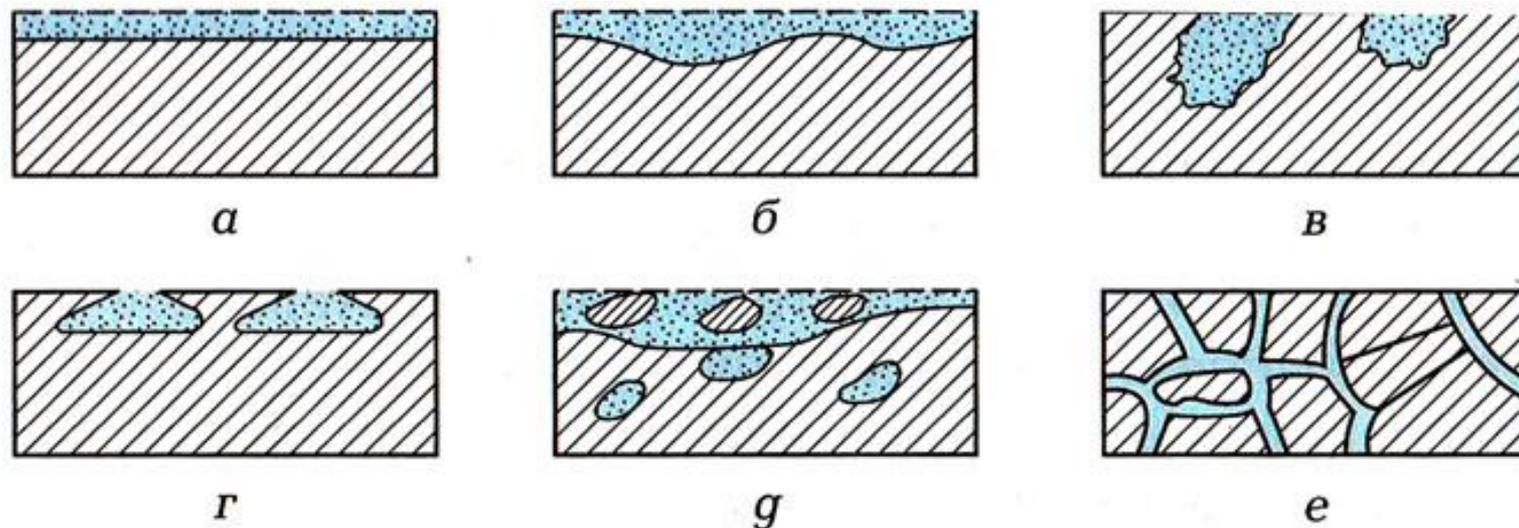
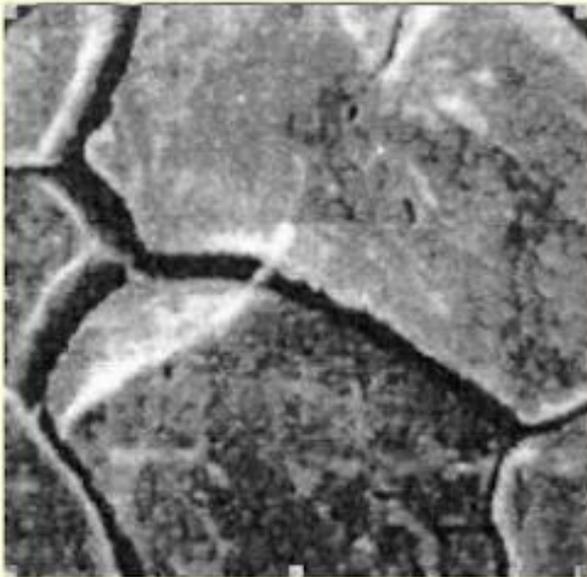


Рис. 2.2. Виды коррозионных разрушений металлов и сплавов:

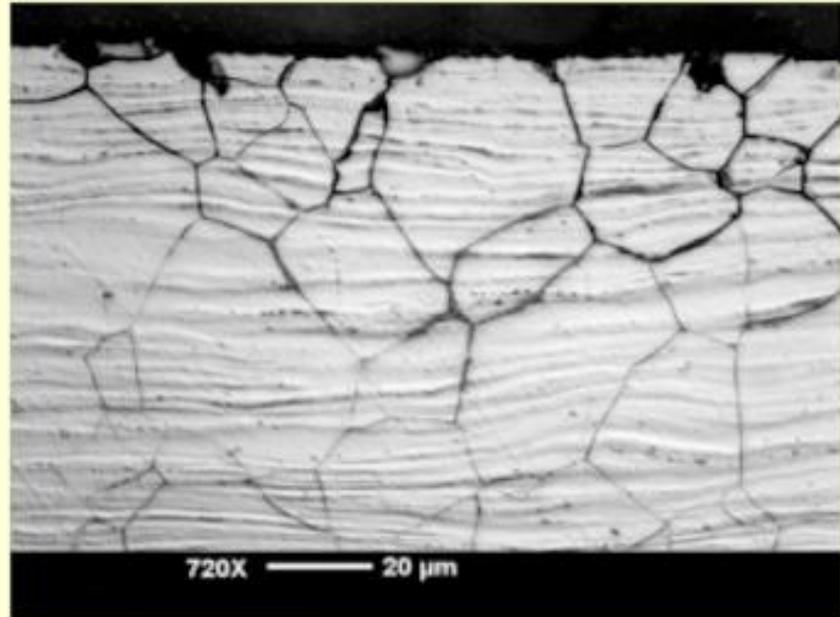
а — сплошная равномерная коррозия; *б* — сплошная неравномерная коррозия; *в* — язвенная коррозия; *г* — подповерхностная коррозия; *д* — избирательная коррозия; *е* — межкристаллитная коррозия

Межкристаллитная коррозия (МКК)

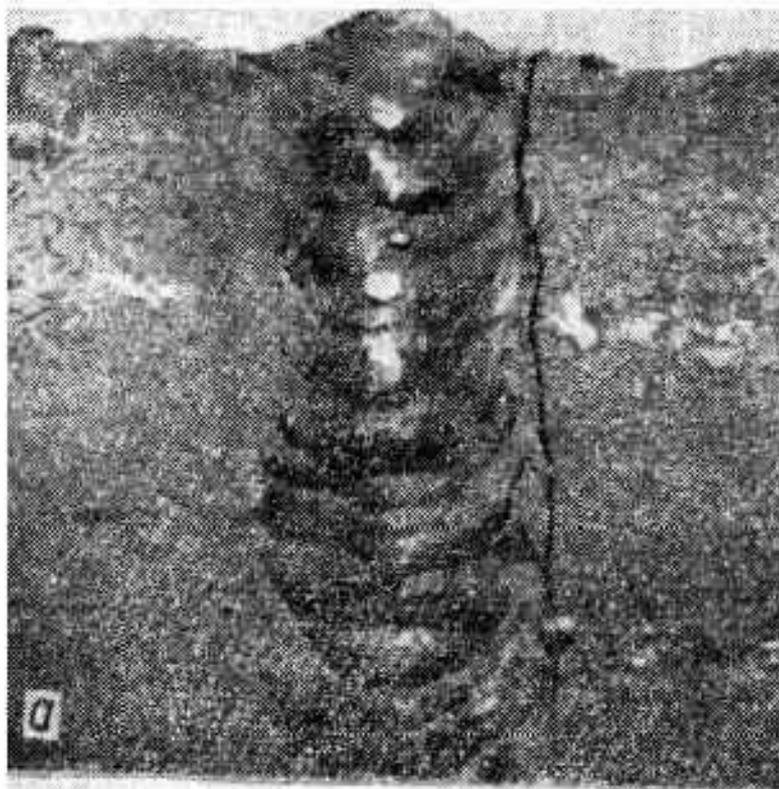
Межкристаллитная коррозия (МКК) – это локальное коррозионное разрушение по границам зерен металла, приводящее к потере прочности и пластичности. Межзеренное вещество, действующее как анод, контактирует с большой поверхностью самих зерен, являющейся катодом. Коррозия протекает быстро, глубоко проникая в металл и приводя иногда к катастрофическим разрушениям.



Сталь 09X18N14 с после отпуска
при 650 °С



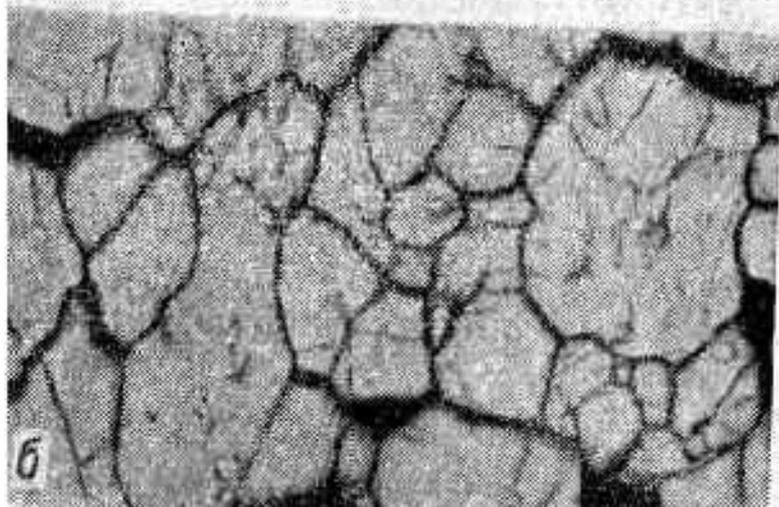
Межкристаллитная коррозия ферритной стали



Межкристаллитное коррозионное разрушение стали 08X18H9T в зоне термического влияния сварного шва:

а — внешний вид разрушения,

б — микроструктура



Основной является классификация *по механизму протекания процесса*.
Различают два вида: химическую коррозию; электрохимическую коррозию.

- Разрушение металла под воздействием агрессивных сред, возникающих в коррозионной среде при взаимодействии элементов называют электрохимической



а



б



Разрушение под воздействием химической (газовой) коррозии (а) и электрохимической коррозии (б)

Коррозионное разрушение

Коррозия может стать составной частью процесса изнашивания деталей двигателей внутреннего сгорания независимо от рабочего процесса в них. Так, при сгорании бензина помимо водяных паров образуются двуокись углерода, небольшое количество окислов серы из органических сернистых соединений в составе топлива, окись азота в очень малых количествах и др. ***При взаимодействии с водяными парами эти продукты образуют кислоты – угольную, сернистую, серную, азотистую, азотную и др., которые в основном удаляются из цилиндра с отработавшими газами.***

При пониженной температуре стенок цилиндра кислоты легко конденсируются, повышая интенсивность изнашивания стенок и поршневых колец, усиливая коррозию поршня, бобышек и поршневого пальца.

Проблема коррозии подшипников возникла после внедрения в быстроходные двигатели внутреннего сгорания антифрикционных свинцовых, медно-свинцовых и кадмиевых сплавов.

Все антифрикционные сплавы, в какой-то мере корродируют под воздействием органических кислот, содержащихся в маслах или образующихся в них во время работы.

Масла окисляясь, дают перекиси, которые вызывают реакции, заканчивающиеся образованием органических кислот.

Коррозионное разрушение



Коррозионно-усталостное разрушение детали рулевого механизма

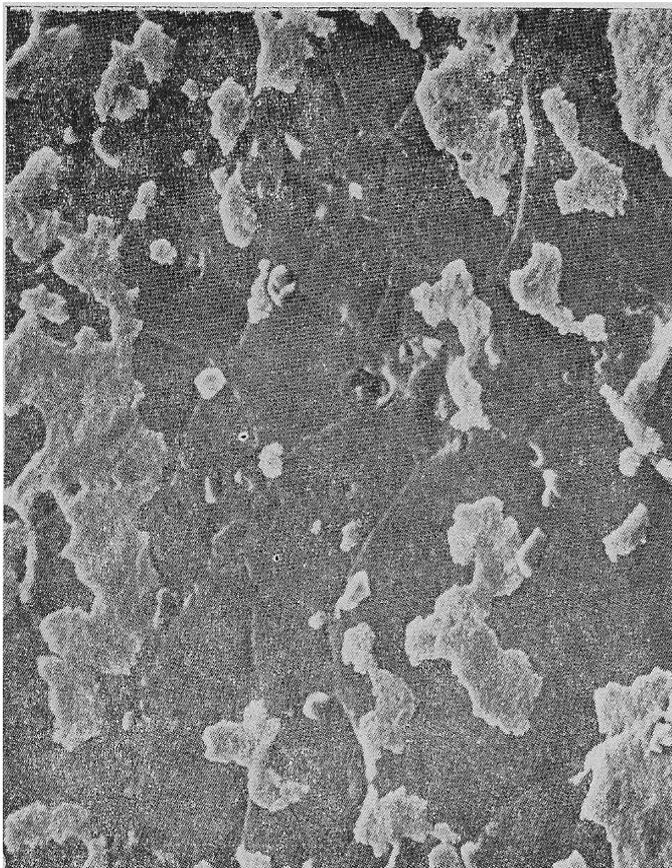


Коррозионно-усталостный излом рулевой полуоси

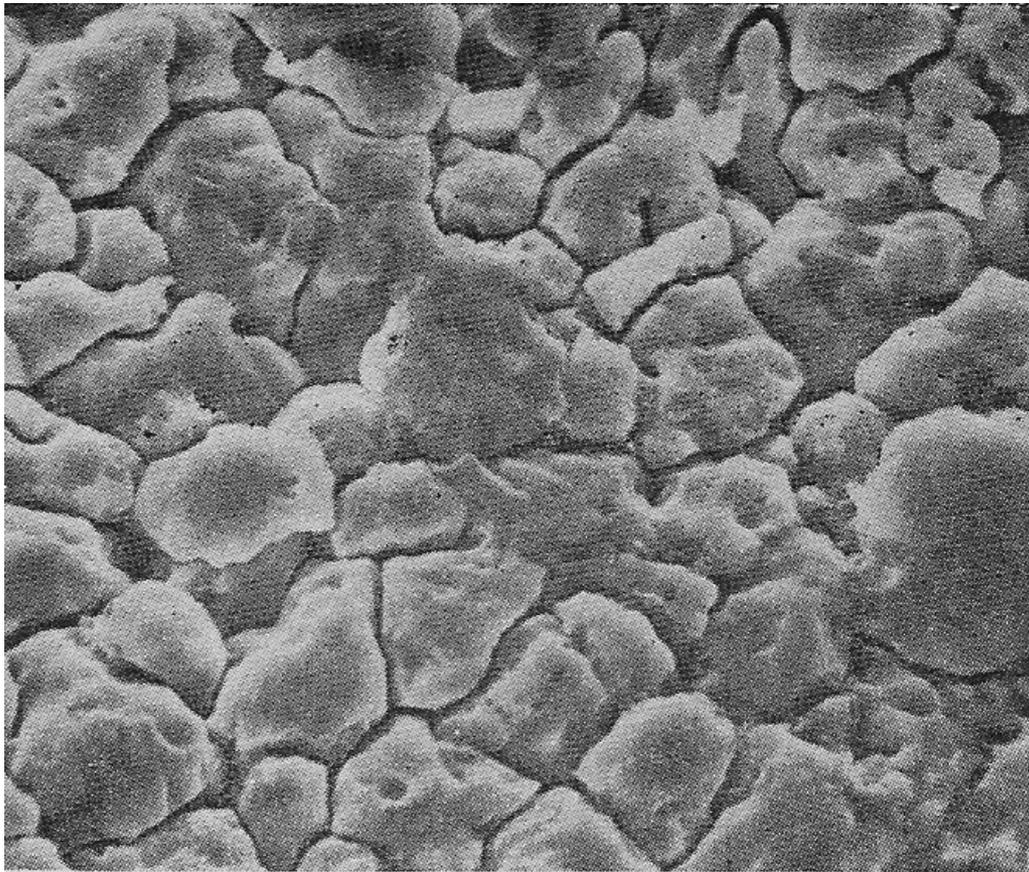
Коррозионное разрушение



Коррозионно-усталостный излом рулевой сошки автомобиля МАЗ.
Причина – тяжелые условия эксплуатации в агрессивной атмосфере



а



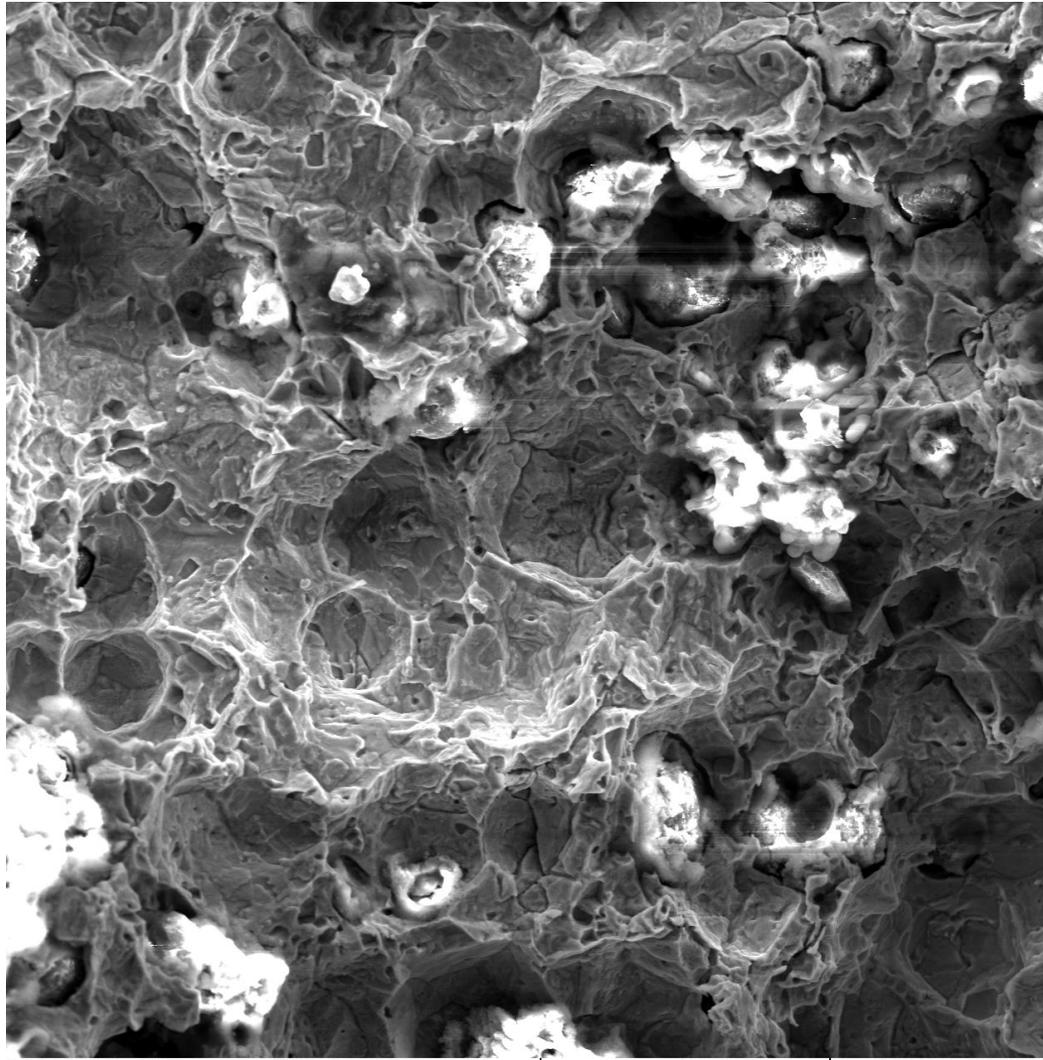
б

Коррозионное разрушение:

а – точечная или пятнистая коррозия никелевого сплава в результате воздействия горячих газов. В эксплуатационных условиях при высоких температурах образовался коррозионный слой окалины. Кроме того, воздействию газовой коррозии подверглись границы зерен, выходящие наверх, что послужило причиной возникновения усталостного излома. РЭМ. х500;

б – межкристаллитное растрескивание хромистой стали произошло вблизи места высокотемпературной пайки. РЭМ. х2000

Коррозионное разрушение



Микрофрактограмма излома образца поворотного кулака автомобиля Nissan. Яркие светлые бесформенные пятна – ржавчина. РЭМ x380

Разрушение материала, деталей машин и в целом автомобиля происходит не только от возникших вышеперечисленных дефектов и нарушения правил эксплуатации, но и от естественного старения.

Старение - процесс постепенного и непрерывного изменения эксплуатационных свойств, вызываемого действием механических, электрических, тепловых и других нагрузок, наличие которых определяется режимом работы и условиями эксплуатации автомобиля.

Признаки предельного состояния старения – необратимое изменение физико-химических свойств материалов деталей (потеря упругости, прочности и др.). Старение испытывают элементы и детали из металлов, полимеры, резинотехнические изделия, уплотнения, полупроводники.

Контрольные вопросы

1. Назовите причины разрушения деталей и узлов автомобилей при эксплуатации. Укажите методы исследования разрушенных деталей при проведении автотехнической экспертизы.
2. Дайте характеристику металлургическим дефектам. Приведите пример.
3. В чём заключаются конструктивные дефекты деталей? Как влияют поверхностные механические повреждения на устойчивость материала к разрушению? Приведите пример.
4. Перечислите возможные производственные (технологические) дефекты, приводящие к разрушению. Приведите пример.
5. Какие бывают по характеру эксплуатационные разрушения? Приведите примеры эксплуатационных разрушений и объясните причину их возникновения.
6. Назовите характерные виды дефектов автомобилей дайте их расшифровку. Перечислите наружные и внутренние дефекты и способы их выявления. Что такое *деформация*, ее признаки и причины возникновения. Приведите примеры типовых деталей с данным дефектом.
7. Назовите все виды *разрушений*, их признаки и возможные причины возникновения. Приведите примеры типовых деталей с данными дефектами.
8. Назовите все виды механического *изнашивания*. Поясните причину возникновения *абразивного* износа. Приведите примеры типовых деталей с данными дефектами.
9. Дайте определение понятия «*эрозия металла*». Как происходит *кавитационное изнашивание* металла, в частности, кавитационное повреждение подшипников?
10. Дайте описание *кавитационной эрозии подшипников*, от чего она происходит и в каких подшипниках чаще всего наблюдается?
11. Назовите характерные виды дефектов автомобилей. В чём сущность *механического усталостного изнашивания* и какие детали подвержены данному виду изнашивания?
12. Что характерно для *коррозионно-механического изнашивания*? Признаки и возможные причины возникновения *окислительного изнашивания и фреттинг коррозии*. Приведите примеры типовых деталей с данным дефектом
13. Дайте описание *водородного изнашивания*. Где оно наблюдается? Сравните с водородным охрупчиванием.
14. Назовите характерные виды дефектов автомобилей. Дайте описание *молекулярно-механического изнашивания*, его признаки и возможные причины возникновения. Приведите примеры типовых деталей с данными дефектами
15. Назовите характерные виды дефектов автомобилей. Дайте определение коррозии и назовите виды коррозии. Опишите особенность коррозионного воздействия на детали двигателя внутреннего сгорания. Дайте определение старения

64 ТЕРМИНОЛОГИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПРИ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

Неисправное состояние (неисправность) - состояние автомобиля или агрегата автомобиля, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния конструктивного элемента автомобиля при сохранении работоспособного состояния.

Дефект - это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Может включать в себя и повреждение, и отказ.

Критический дефект - это дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

Неустранимый дефект - это дефект, устранение которого технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Устранимый дефект - это дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно.

Конструктивный дефект - это дефект, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования или конструирования автомобиля.

Производственный (технологический) дефект - это дефект, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта автомобиля.

Эксплуатационный дефект - это дефект, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации автомобилей.

Работоспособность — это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданную функцию с параметрами, установленными требованиями технической документации, в течение расчётного срока службы. При этом некоторые из численно оцениваемых и контролируемых параметров могут не отвечать требованиям к новому изделию.

Экспертиза использует терминологию различных областей специальных познаний в науке и технике. Экспертиза не разрабатывает каких-либо своих терминов. Все используемые термины основаны на нормативных документах (ГОСТ, Регламент и т.п.).