

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации  
Кафедра № 24 - «Авиационной техники»

# ***КОРРОЗИЯ***

Санкт-Петербург  
2011

Опыт эксплуатации и ремонта самолетов показывает, что отдельные детали самолета с течением времени подвергаются **коррозионным повреждениям**, в результате чего они теряют свои первоначальные прочностные характеристики или разрушаются.



**Рис. Коррозионное повреждение обшивки фюзеляжа**



**Рис. Коррозионное повреждение обшивки фюзеляжа**



Рис.  
Коррозионного  
разрушение  
шпангоута



**Рис. Замок подкоса  
передней ноги шасси  
самолета Як-40**



**Рис.        Внутренняя поверхность обшивки фюзеляжа и элементы каркаса в багажном отделении вертолета Ми-8**



Рис.      Расслаивающаяся коррозия балки шп.№55 в районе  
переднего левого узла навески переднего лонжерона кила  
(самолет Ту-134А )



Рис. Коррозия фитинга шп. № 15 справа в нише передней опоры шасси самолета Ту-134А размером 21×8×2,5 мм



Рис. Расслаивающаяся коррозия вертикальной полки верхнего пояса I лонжерона центроплана (в районе верхнего кронштейна крепления гермовывода элеронов) (самолет Ту-134А)



Рис. Расслаивающаяся коррозия стенки верхнего пояса второго лонжерона центроплана шп. № 34 слева (самолет Ту-134А)



**Рис. Кронштейн крепления амортизационной стойки  
главной опоры шасси вертолета Ми-8**



**Рис. Коррозионное поражение деталей роликового подшипника**



**Рис. Коррозионно-механический износ роликов подшипника**



Рис. Коррозия элементов крепежа



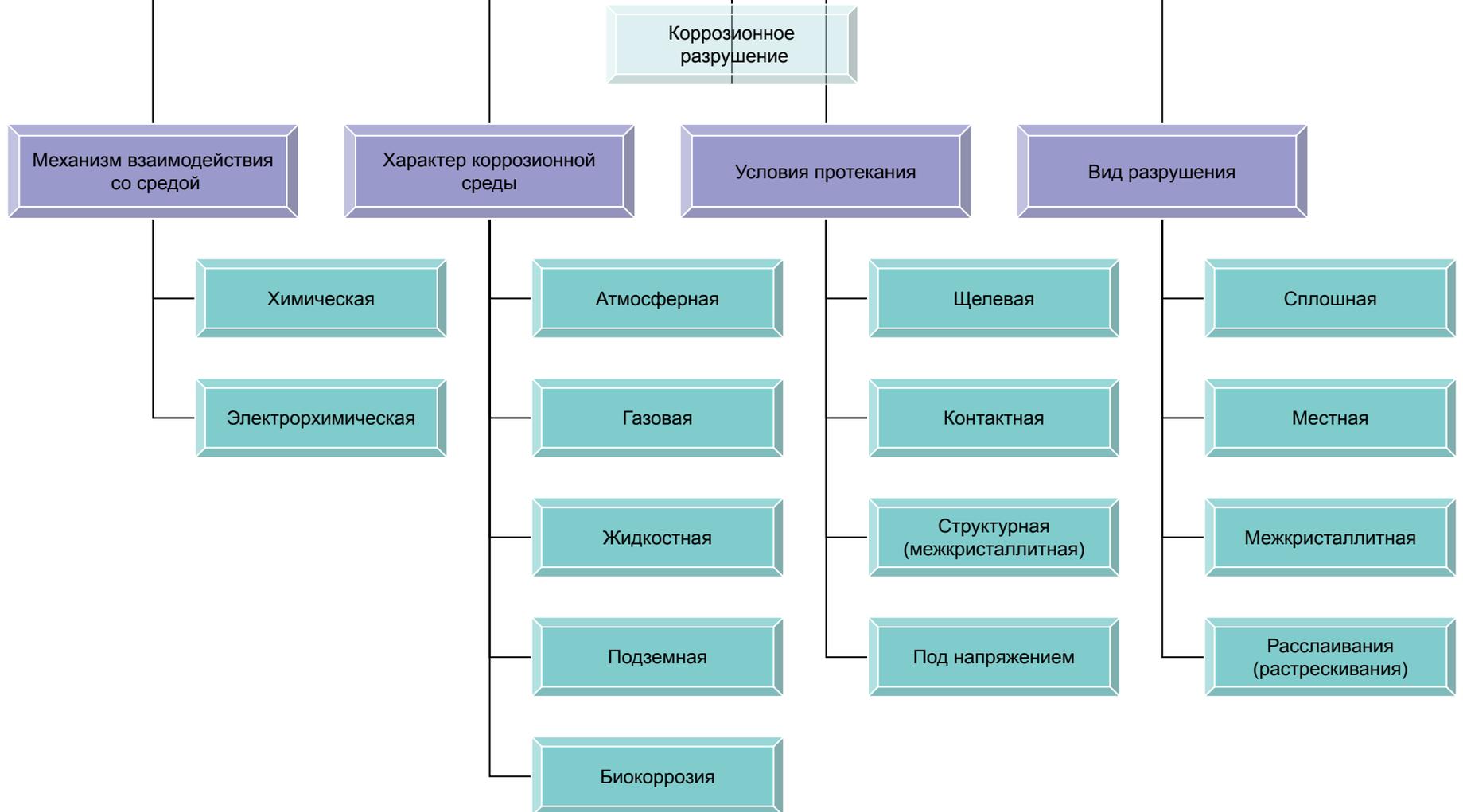
Рис. Коррозия заклепочное соединения

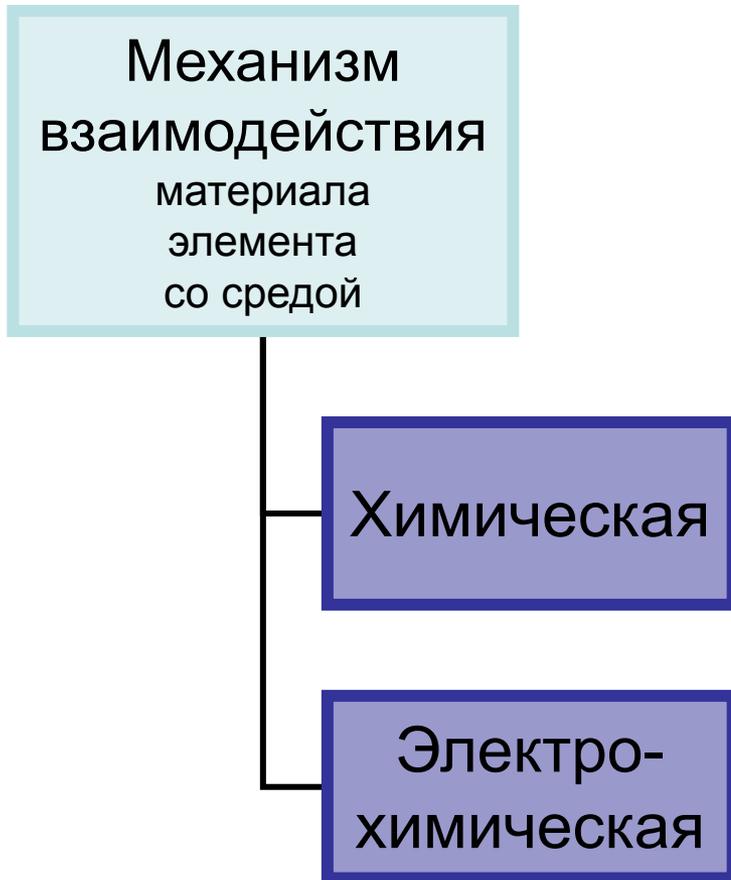


**Рис. Коррозия на узлах системы тормозов колес основной опоры шасси**

# Коррозия

**Коррозией** называют процесс разрушения металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней средой.





При **химической коррозии** материал детали разрушается в результате химической реакции с окружающей средой (газом, воздухом или жидкостью).

Интенсивность процесса химической коррозии зависит от химической активности среды и температуры, коррозионной стойкости материала. При повышении температуры интенсивность химической коррозии возрастает. Следует заметить, что в чистом виде химическая коррозия встречается редко

**Электрохимическая коррозия** – это коррозия протекающая в результате электрохимических процессов. При этом электролитом может служить вода или водные растворы кислот и щелочей, образующиеся при взаимодействии воды с топливом, маслами, газами и т. д.

# Механизм разрушения при электрохимической коррозии следующий:

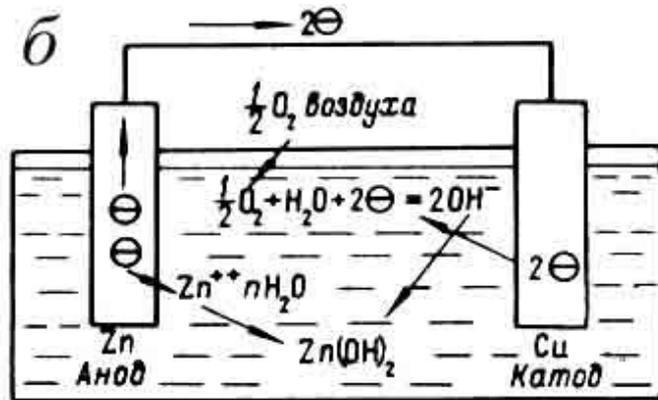
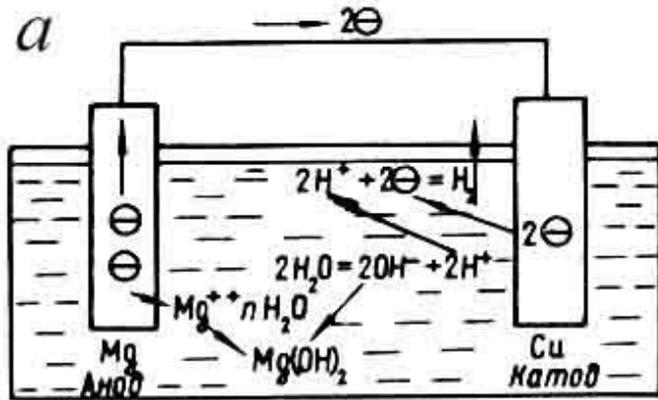
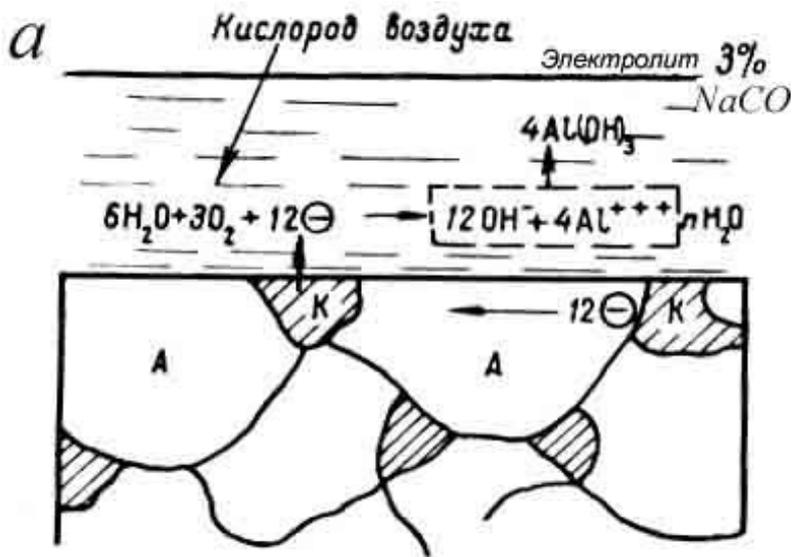


Рис. Схемы процессов электрохимической коррозии, протекающих с водородной (а) и кислородной (б) деполяризацией катода

потерянные металлом в анодной зоне электроды по электролиту перемещаются в катодную зону и там вступая в реакцию с водой и кислородом, образуют гидроксильные ионы. В результате реакции гидроксильных ионов с двухвалентными ионами железа (например) в анодной зоне образуется гидратированный оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_2$  - ржавчина.



У некоторых сплавов металлов, например сталей, иногда электрохимические процессы протекают по границам кристаллов, обладающих разными электрохимическими потенциалами. При этом имеются отдельные зерна, обладающие либо анодными, либо катодными свойствами. Процесс разрушения металла при этом называется **межкристаллитной** коррозией

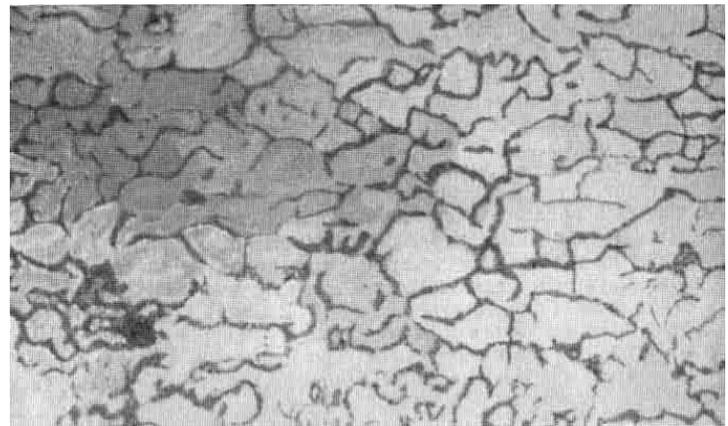
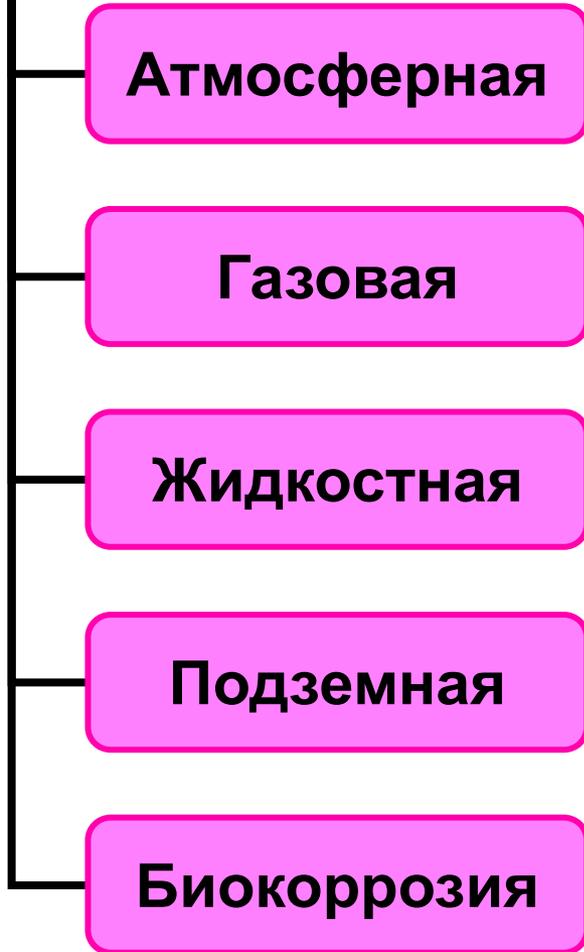


Рис. Схема электрохимической коррозии:  
 а – двухфазного сплава; б – чистого металла под каплей влаги

Рис. Межкристаллитная (интеркристаллитная) коррозия

# Характер коррозионно й среды



## Атмосферная коррозия.

Содержащиеся в атмосфере твердые частицы различных химических соединений при оседании на поверхность металла образуют совместно с влагой электролит, обуславливающий протекание электрохимической коррозии.

Интенсивность этого процесса зависит от изменений температуры. Так, при переходе от отрицательных к положительным температурам коррозия усиливается за счет конденсации влаги на поверхности. Скорость и характер атмосферной коррозии зависят также от степени увлажнения поверхности.

## Газовая коррозия

Газовая коррозия происходит, как правило, в результате воздействия агрессивных газов высокой температуры. Процесс сопровождается химическими реакциями и встречается в двигателях внутреннего сгорания, газогенераторах, компрессорах и т. д. Следует также иметь в виду, что газовая коррозия происходит и при технологических процессах обработки металлов, таких, как ковка и штамповка, термообработка, сварка и т. д.



Рис. **Примеры коррозии, вызванной воздействием газов высокой температуры**

## **Жидкостная коррозия**

Жидкостная коррозия происходит в результате химического взаимодействия поверхности металла с жидкостями. Наиболее коррозионно активными компонентами жидкостей при этом являются сера и сернистые соединения, а также органические кислоты, образующиеся в результате окисления углеводородов (смазок) под влиянием кислорода воздуха. Жидкостная коррозия особенно сильно проявляется у элементов двигателей внутреннего сгорания, работающих на топливах с высоким содержанием серы.



**Рис. Коррозия в морской воде**

## **Подземная коррозия**

Под подземной коррозией понимается электрохимический процесс разрушения металлических и бетонных конструкций, находящихся в грунте, под влиянием грунтовой влаги.



**Рис. Пример коррозии под влиянием грунтовой влаги**

## Биологическая коррозия

Биологическая коррозия (биокоррозия) происходит в результате воздействия на металлы различных микроорганизмов.

Это воздействие может быть непосредственным, когда на поверхности находятся бактерии, питательной средой которых является железо и его сплавы. Чаще всего, однако, воздействие микроорганизмов проявляется косвенно, когда продукты их жизнедеятельности образуют среду, благоприятствующую химической или электрохимической коррозии.



Биокоррозия происходит чаще всего во влажной среде и при сравнительно высокой температуре воздуха (10...40°C). В некоторых случаях биокоррозия явилась причиной разрушения топливных насосов, баков и других емкостей для хранения топлив и масел.



**Рис. Пример коррозии в результате воздействия на металлы различных микроорганизмов**



**Рис. Примеры коррозии в результате воздействия на металлы различных микроорганизмов**

**Условия протекания  
коррозионного  
процесса**

**Щелевая**

**Контактная**

**Структурная  
(межкристаллитная)**

**Под  
напряжением**

## Щелевая коррозия

Щелевая коррозия происходит в щелях и зазорах металлических конструкций, а также в зонах контакта металла с неметаллами. Непосредственной причиной щелевой коррозии является появление анодно-катодной пары из-за неравномерной концентрации агрессивного компонента вне и внутри щели. Возникающий при этом электрохимический процесс приводит к интенсивному разрушению участка поверхности, являющегося анодом.



Рис. Разводы на пластинах - следы щелевой коррозии



Рис. Примеры глубокой или щелевой коррозии

# Контактная коррозия

Контактная коррозия происходит при электрохимическом взаимодействии металлов, имеющих разные потенциалы. В существующих конструкциях ВС можно выделить три типа контактов, при которых происходит коррозия:

- контакты **разных металлов**, находящихся в электропроводящей среде;
- контакты одинаковых металлов, расположенных **в средах с различной концентрации**;
- контакты при **разных температурах**

Металл в контактной паре, имеющей более положительный потенциал, является катодом. Металл с меньшим потенциалом, являющийся анодом, подвергается в процессе контактной коррозии наиболее интенсивному разрушению.

Исходя из условий контактной коррозии, различают:

1. **Ограниченно допустимые**,
2. **Допустимые** и
3. **Недопустимые сочетания металлов в сопряжениях.**

На интенсивность контактной коррозии влияет и **соотношение площадей поверхностей анодных и катодных участков.**

Так, если поверхность катода гораздо больше поверхности анода, то, менее благородный металл подвергается интенсивной коррозии. Например, если поверхность стальных листов, соединенных медными заклепками, в 100 раз больше суммарной поверхности заклепок, то скорость коррозии соединения будет примерно одинаковой. При обратном соотношении (соединение медных листов стальными заклепками) скорость коррозии заклепок возрастает в 100 раз.

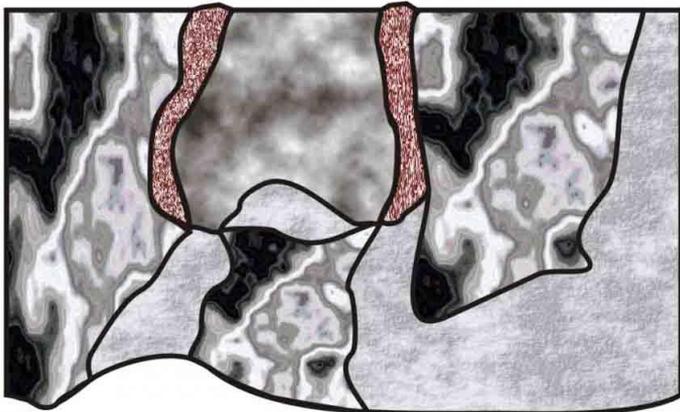


**Рис. Электрохимическая коррозия на границе (в контакте) стального корпуса и кронштейна из магниевого сплава**

## Структурная коррозия

Структурная коррозия возникает при неоднородной структуре материала и проходит в соответствии с механизмом протекания межкристаллитной коррозии.

Возникновение структурно неоднородных участков в сталях вызывается, в частности, различными скоростями диффузии углерода и легирующих элементов (например, хрома) при образовании твердого раствора.



Межкристаллитная коррозия

Наиболее высокую склонность к межкристаллитной коррозии имеют стали с ферритной структурой, а также алюминиевые сплавы с содержанием 4...5% меди (ковкие - АК2, АК8, дюралюмины - Д16 и др.); особенно при перегревах во время термообработки и сварке.

Металл детали при межкристаллитной коррозии разрушается по границам зерен, и деталь очень быстро выходит из строя.

Межкристаллитную коррозию трудно обнаружить до разрушения детали. Поэтому для предотвращения внезапных отказов детали из нержавеющей стали в процессе ремонта сваркой (или наплавкой) проверяют на склонность к межкристаллитной коррозии.

# Коррозия под напряжением

Коррозия под напряжением – это процесс разрушения поверхностей материалов при одновременном воздействии коррозионной среды, а также механических напряжений.

При постоянных растягивающих напряжениях, не превышающих предел текучести, и одновременно воздействию коррозионной среды на поверхности материала могут интенсивно развиваться трещины (**коррозионное растрескивание**), резко снижающее несущую способность конструкции.



Рис. Пример коррозии под напряжением – коррозионное растрескивание

При одновременном воздействии коррозионной среды и циклической нагрузке снижается предел выносливости конструкции (**коррозионная усталость**). Это явление особенно характерно для таких деталей, как рессоры, пружины, канаты, штоки гидроцилиндров и т. д. В определенной степени коррозионно-механическое изнашивание также может интерпретироваться как коррозия под напряжением. Особенностью этого разрушения является локальный характер происходящего явления.

**По характеру  
разрушения**

**равномерная**

**местная**

**межкристаллитная**

**Коррозионное  
растрескивание**

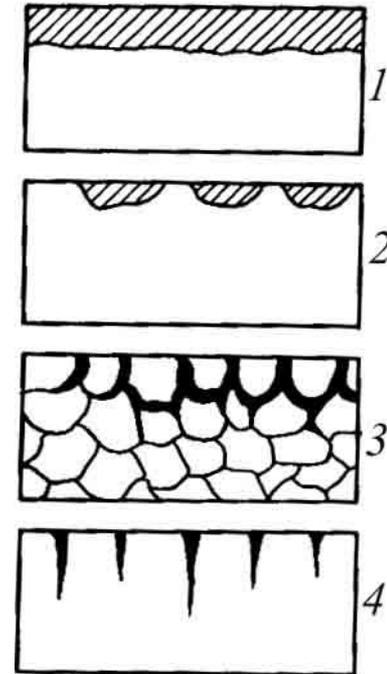


Рис. Основные виды  
коррозионного разрушения:  
1 – равномерная; 2 – местная  
коррозия; 3 – межкристаллитная; 4 –  
коррозионное растрескивание

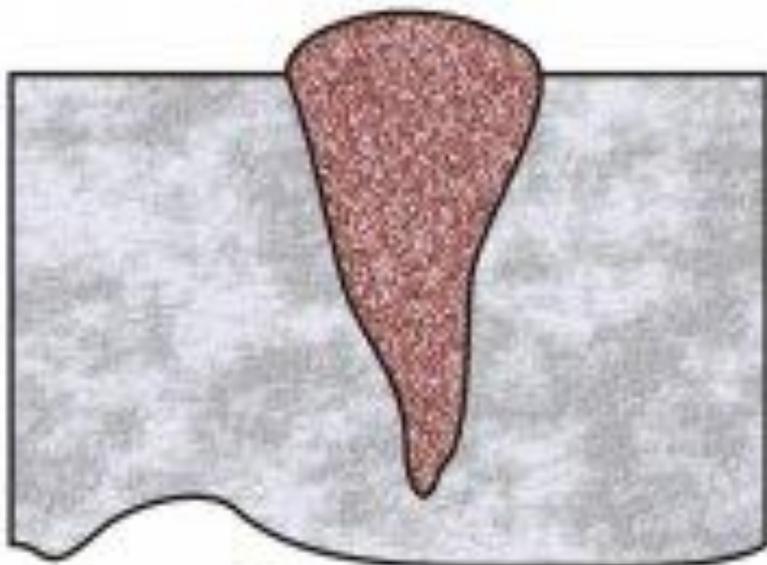
## Равномерная коррозия

Равномерная коррозия характеризуется развитием процесса по всей поверхности металла с одинаковой скоростью, в результате чего слой продуктов коррозии получается более или менее одинаковым по толщине.

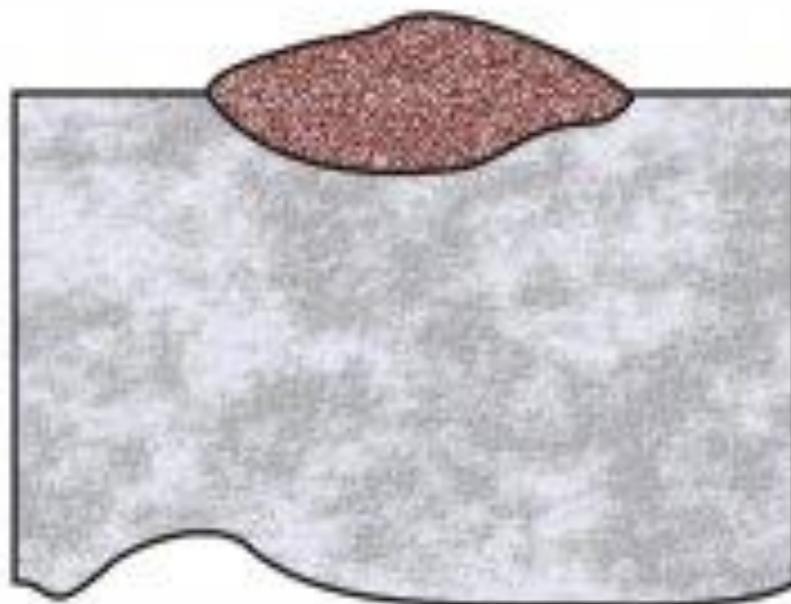


## Местная коррозия

Местная коррозия протекает избирательно и характеризуется разрушением отдельных участков поверхности металла. При этом очаги коррозии могут быть точечными или язвенными. Местная коррозия оказывает более неблагоприятное влияние на эксплуатационную надежность изделий, чем равномерная, поскольку вызывает неравномерное разрушение металла и образование концентраторов напряжений.



Язвенная коррозия

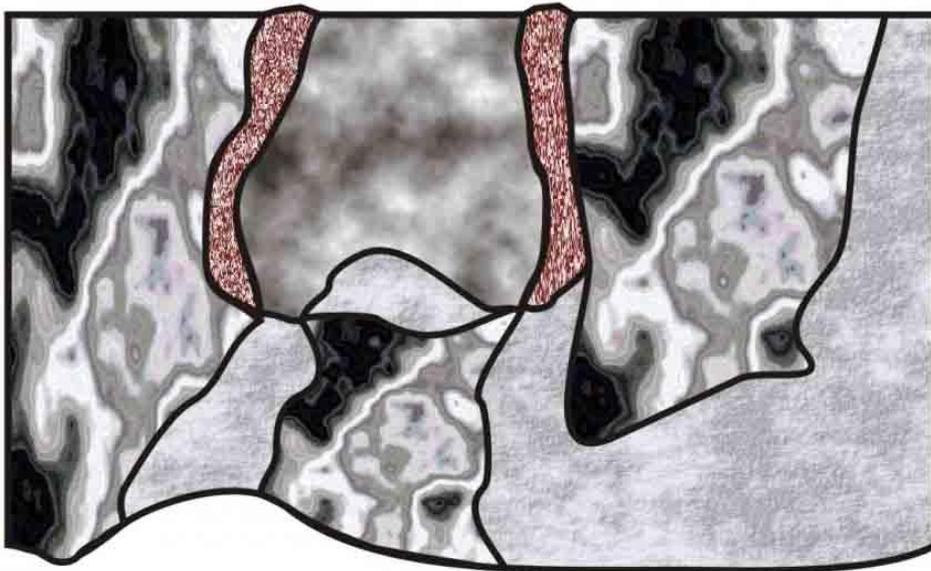


Коррозия пятнами

# Межкристаллитная коррозия

Межкристаллитная коррозия развивается по границам зерен сплава и приводит к нарушению связи между кристаллами.

Межкристаллитная коррозия вызывает значительное ухудшение механических свойств изделия и является весьма коварной, так как внешне почти ничем не проявляется.



Межкристаллитная коррозия



## Межкристаллитная коррозия может быть обнаружена:

- по утрате изделием металлического звука,
- по снижению электропроводности, а также
- по уменьшению пластичности и прочности.



Вихретоковый  
дефектоскоп  
“ВД-96”



Толщиномер DMS  
(Германия)



Ультразвуковые  
микропроцессорные  
толщиномеры  
“Булат-1S” и БУЛАТ®-1

# Коррозионное растрескивание

Коррозионное растрескивание является следствием совместного действия на металл агрессивной среды и механических растягивающих напряжений. Оно развивается при длительной работе изделия в тяжелых условиях коррозии под напряжением.

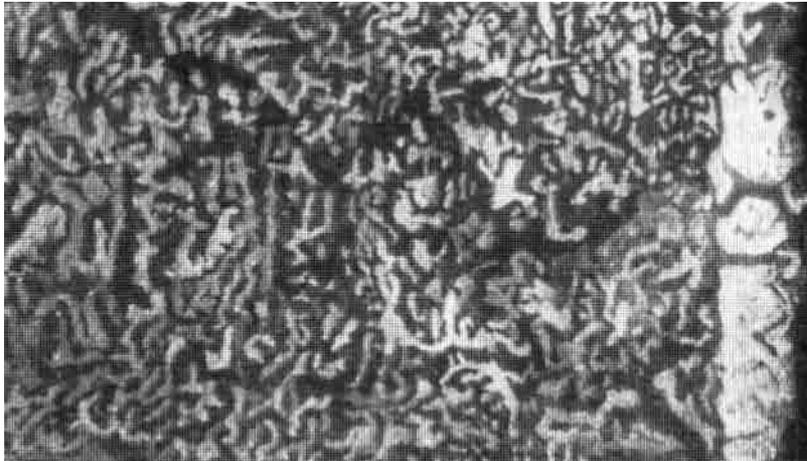


Рис. Коррозионное растрескивание

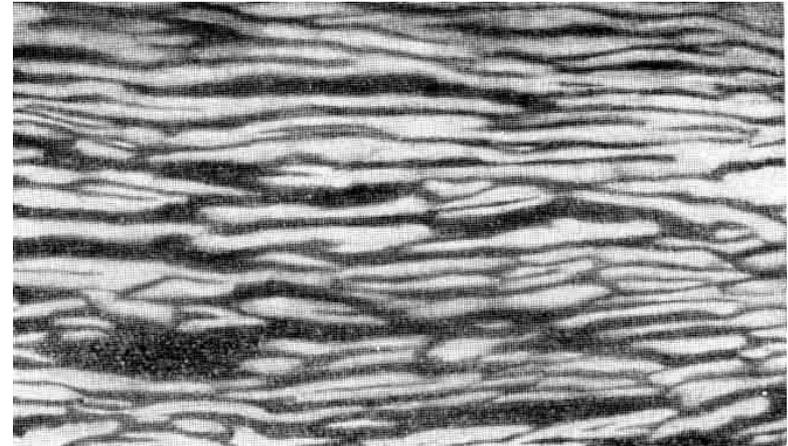
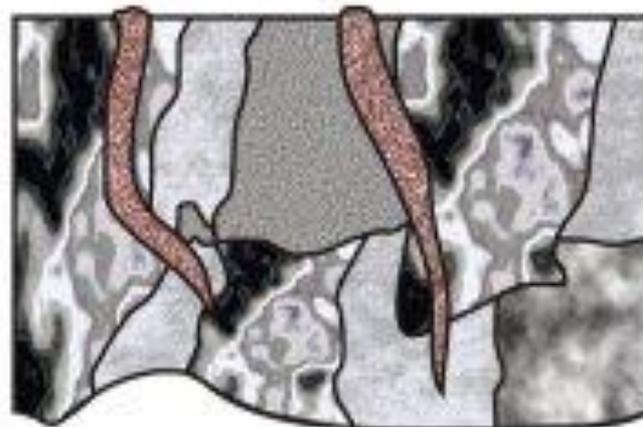


Рис. Расслаивающая коррозия



Коррозионное растрескивание

Рис. Коррозионное растрескивание



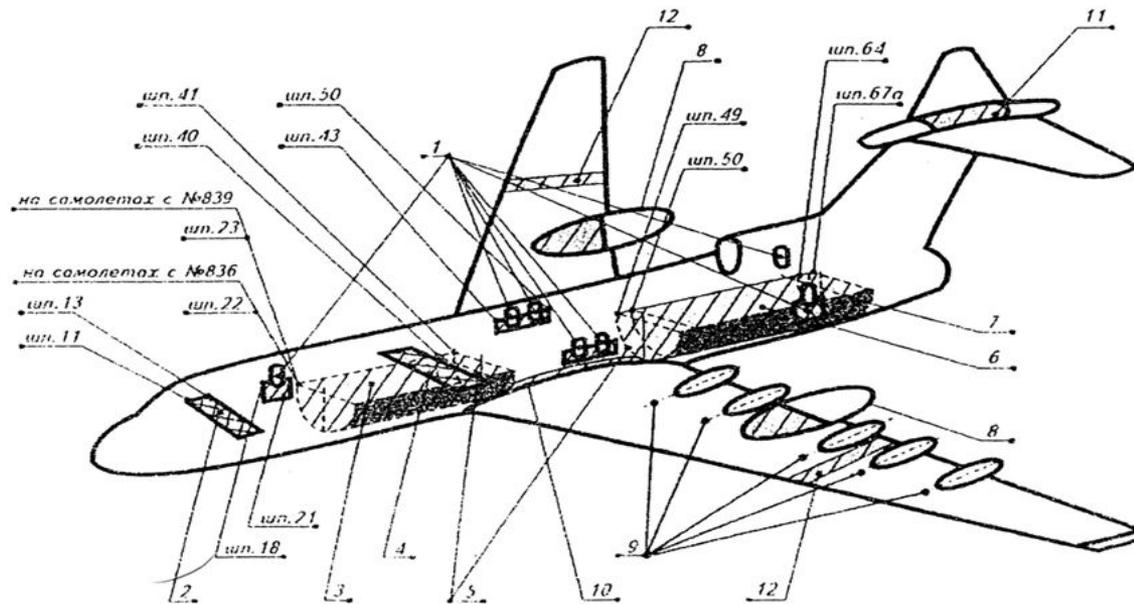
**Рис. Расслаивающаяся коррозия**  
стенки верхнего пояса второго лонжерона центроплана шп. № 34 слева (Ту-134А бортовой номер RA 65618 Ф-12 к/н № 12 от 26.01.2005 г.; С.Н.Э.- 30 лет 6 мес., 34647 л.ч., 20237,5 пол., П.П. Р.- 1 год 8 мес., 2419 л.ч., 1011,5 пол.)

## **Основными причинами коррозии**

самолетов являются:

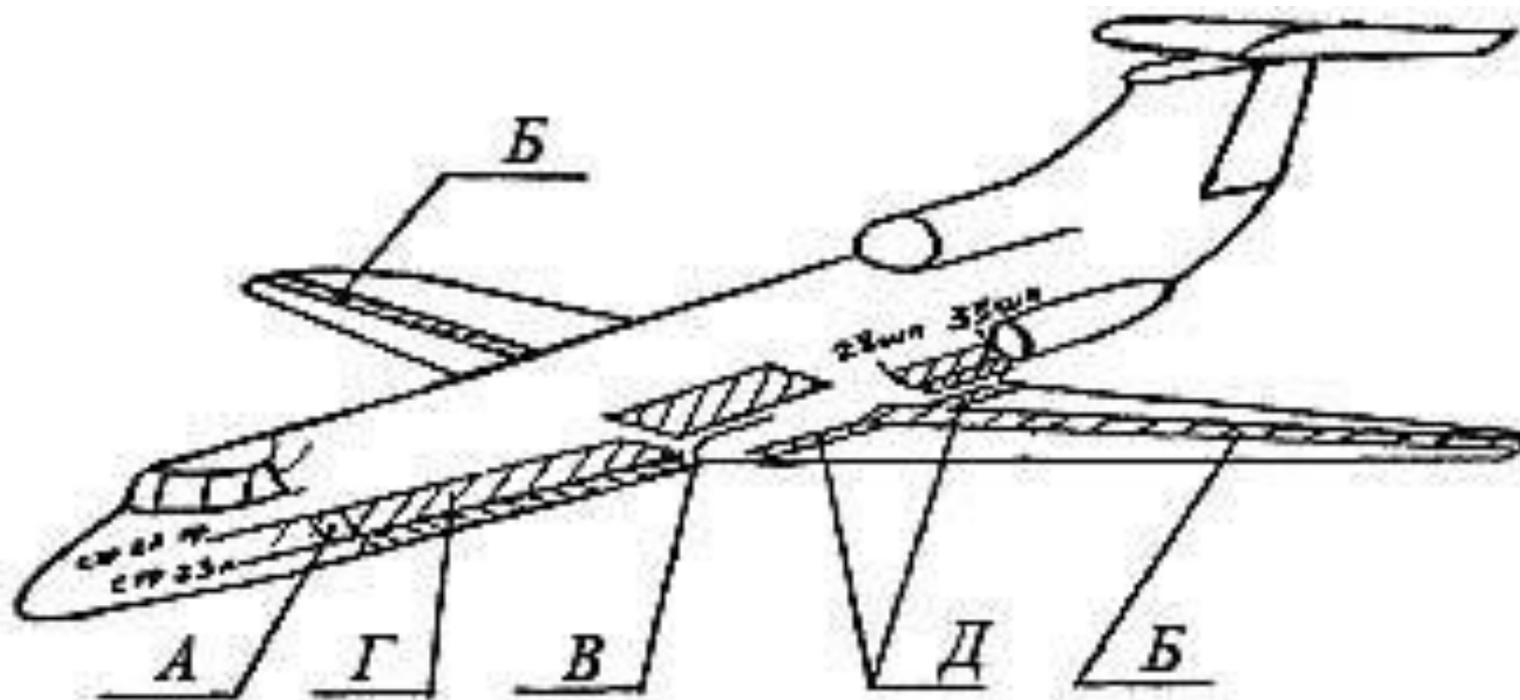
1. Действие выхлопных газов и нагара, содержащего бромид свинца, образующегося при сгорании топлива со свинцовыми антидетонаторами.
2. Атмосферные воздействия : влага (дождь, снег, туман и т. п.), соленый морской воздух, химические пары в промышленных районах, а также грязь, пыль.
3. Недостаточный уход за самолетом, несвоевременное удаление копоти, грязи, пыли и пр.
4. Недостаточно хорошая защита самолетной конструкции: применение некачественных лакокрасочных материалов, несоблюдение технологии покрытий и др.
5. Перевозка кислот, щелочей, серы, рыбы в негерметизированной таре, применение агрессивных ядохимикатов при выполнении сельскохозяйственных работ.

# КАРТА КОРРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ЗОН САМОЛЕТА Ту-154



1. Внутренняя поверхность обшивки и элементы каркаса вокруг аварийных выходов и входных дверей.
2. Элементы конструкции пола переднего туалета (балки шп11-13).
3. Внутренняя поверхность обшивки фюзеляжа и элементы каркаса в багажном отделении №1 (стр22-36-22 шп22-40)
4. Элементы конструкции пола кухни (балки шп30-36)
5. Внутренняя поверхность обшивки фюзеляжа и элементы каркаса в техническом отсеке №3 в районе шп40-4, стр22-36-22, шп49-50, стр22-36-22 ).
6. Внутренняя поверхность обшивка фюзеляжа и элементы каркаса в багажном отделении №2 (стр22-36-22, шп50-64).
7. Внутренняя поверхность обшивки фюзеляжа и элементы каркаса в техническом отсеке №4 ( стр20-36-20, шп64-67А, днище шп67А на высоту 400мм от стр36 ).
8. Обшивка верхних панелей крыла под обтекателем gondoly шасси.
9. Передние узлы навески балок закрылков.
10. Поверхность крыла под зализом крыла с фюзеляжем
11. Верхняя часть центрального узла стабилизатора.
12. Элементы конструкции в зоне стыка ЦЧК с ОЧК.

## КАРТА КОРРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ЗОН САМОЛЕТА ЯК-40



А – аккумуляторные отсеки;

Б – верхние и нижние полки лонжерона консоли крыла;

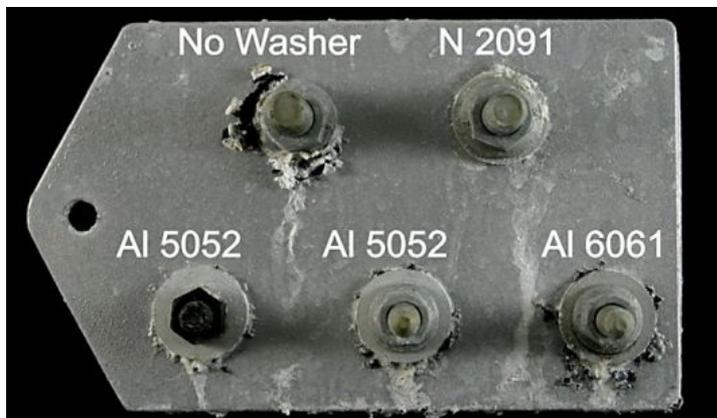
В – зона стыковки крыльев;

Г – подпольная часть фюзеляжа;

Д – кронштейны крепления крыльев с фюзеляжем по шп. 24, 26, 28

**Коррозия** различных металлических сплавов внешне проявляется обычно в виде наростов продуктов коррозии:

- **белого цвета** алюминиевых и магниевых сплавов:



-продукты коррозии железа и стали **коричневого** цвета



Продукты коррозии медных сплавов черного или изумрудно-зеленого цвета :



# ПРИЗНАКИ ПОЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИИ

1. **Вспучивание лакокрасочного покрытия.** Оно может быть размером с булавочную головку и может доходить до сплошного отслаивания и шелушения покрытия.

Вспучивание покрытия легко разрушается при механическом воздействии, вскрывая очаги коррозии. Это способствует ускорению процесса коррозии.

И р и м е ч а н и е. В некоторых случаях за признаки появления коррозии можно принять следы ранее произведенной обработки поверхности, покрытые лаком. Они разбросаны по поверхности в виде небольших точек темного цвета без налета порошка и легко просматриваются сквозь неразрушенную лаковую пленку при помощи лупы.

2. Признаком коррозии **алюминиевых сплавов** служит появление на поверхности детали **белых или серых пятен** или отдельных изолированных друг от друга еле заметных язвин, иногда имеющих вид черных точек с налетом порошка.

3. Коррозия **магниевого сплава** обнаруживается по вспучиванию лакокрасочного покрытия и появлению **влажного солеобразного налета грязно-белого цвета.**

При эксплуатации и обслуживании ВС особое внимание следует обращать на сохранность защитных покрытий деталей из магниевых сплавов, так как они менее стойки к коррозии по сравнению с деталями, изготовленными из других сплавов. Кроме того, эти детали, будучи сильно поврежденными коррозией, теряют свою прочность.

Процесс коррозии магниевых сплавов может развиваться интенсивно, если своевременно не будут удалены продукты коррозии и восстановлено покрытие.

4. Коррозия **стали** сопровождается образованием на поверхности детали **коричневато-красного налета** — ржавчины. Ржавчина иногда выступает из-под разрушенного лакокрасочного покрытия.

5. Коррозия **медных сплавов** - сопровождается образованием на поверхности детали налета **черного** или **изумрудно-зеленого цвета.**

## Величина разрушения элементов конструкции планера от действия коррозии **определяется:**

1. **Внешним осмотром** узла или детали. Характер распространения коррозии на детали определяется по величине покрытого коррозией участка и глубине проникновения коррозии в металл.



При осмотре следует иметь в виду, что процесс коррозии может происходить и под лакокрасочным покрытием. Поэтому в тех местах, где произошло разрушение лакокрасочного покрытия (трещины, шелушение, вспучивание краски), необходимо зачистить покрытие и проверить состояние металла под ним.

2. Потерей механических свойств металла, которая определяется **испытанием вырезанных образцов** на сопротивление разрыву и на удлинение.



Рис. Разрывная машина для испытания образцов на сопротивление разрыву и на удлинение



Рис. Схема закрепления образца для испытаний на растяжение

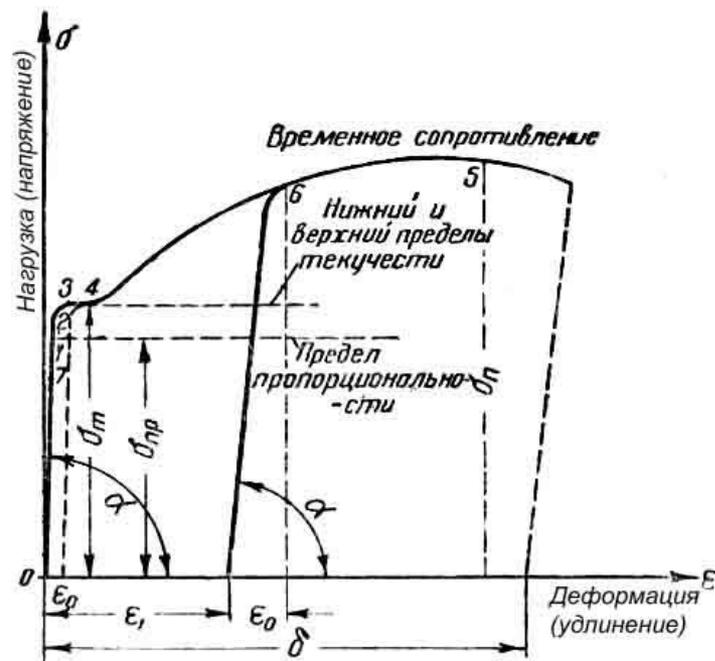
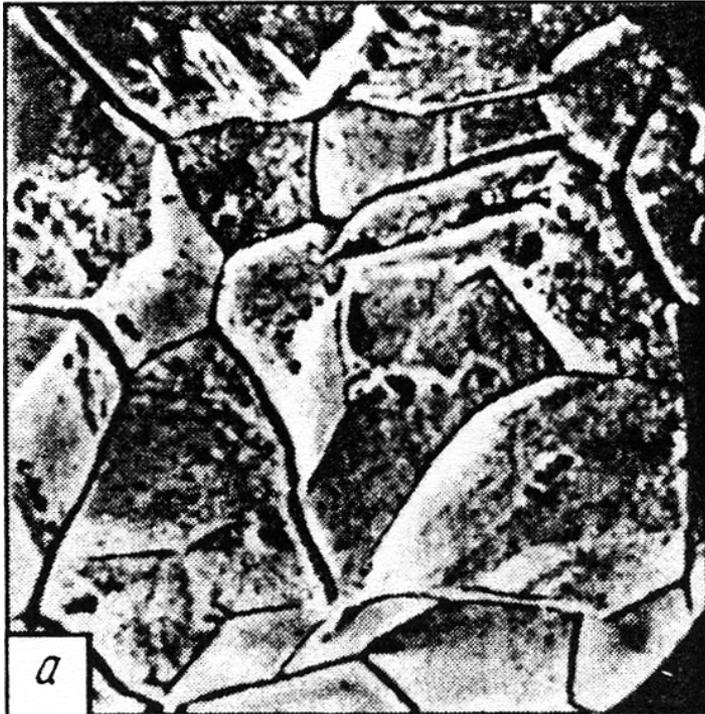


Рис. Диаграмма растяжения

### 3. Изучением шлифа, взятого на поверхности детали или на вырезанном образце.

Изучением шлифа под микроскопом можно определить степень распространения коррозии в глубь металла и установить наличие интеркристаллитной коррозии.



Поскольку вырезка из детали образца для приготовления шлифа приводит обычно к порче детали, целесообразно применять метод, заключающийся в приготовлении шлифа непосредственно на внешней поверхности детали.

При этом пользуются небольшими вертикальными микроскопами.



Ручной микроскоп



Мобильный микроскоп



USB-микроскоп

Оценка коррозии осуществляется путем определения весовой потери металла и степени разрушения его.

### Пятибалльная шкала коррозионной стойкости по Круппу

<i>Характеристика стойкости материала</i>	<i>Потеря веса, г/м<sup>3</sup>час</i>	<i>балл</i>
<b>Весьма устойчив</b>	До 0,1	<b>1</b>
Устойчив	0,1...1,0	2
Сравнительно устойчив	1,0....3,0	3
Малоустойчив	3,0....10,0	4
<b>Неустойчив</b>	Более 10	<b>5</b>

Потери металла по весу (коррозионные потери) представляют собой количество металла, превращенное в продукты коррозии за данный промежуток времени.

В зависимости от характера продуктов коррозии потери металла могут определяться убылью в весе или, наоборот, привесом.

Методы защиты от коррозии можно разделить на три группы: повышение коррозионной стойкости самих элементов конструкции; воздействие на среду; комбинированные.

Методы защиты от коррозии

повышение  
коррозионной стойкости  
самых элементов конструкции

воздействие  
на среду

комбинированные

Способы повышения коррозионной стойкости металлических изделий

Конструктивные способы

Уменьшение щелевой коррозии

Уменьшение накопления влаги

Предотвращение контактной коррозии

Нанесение защитных покрытий

Гальванических

Оксидных, фосфатных

Органических, полимерных

Активное воздействие на коррозионную среду

Контактные ингибиторы

Летучие ингибиторы

## **повышение коррозионной стойкости самих элементов конструкции**

К первой группе относятся такие методы, как :

- нанесение различных защитных покрытий;
- Повышение коррозионной стойкости самого металла легированием
- Замена металлических деталей на пластмассовые там, где это возможно.

## **воздействие на среду**

К методам второй группы следует отнести:

- герметизацию сопряжений,
- устранение зазоров, щелей и застойных зон,
- введение в смазки противокоррозионных присадок,
- регулярную консервацию деталей.

## **Комбинированные**

Комбинированные методы представляют собой сочетание указанных выше мероприятий первой и второй групп.

Однако описанные

**методы защиты от коррозии ее полностью**

**не исключают.**



Без покрытий



С грунтовкой ФЛ-086



С пастой ПСП-2АК

Рис. **Коррозионная стойкость сварных соединений сплава Д16-АТ**

При сварке внахлест вследствие наличия в нем защитной пасты ПСП-2АК в 5...10 раз повышается степень защиты сварного соединения от коррозии, значительно увеличивается вибрационная прочность нахлесточного соединения.

# Газовая эрозия и эрозионная стойкость материалов

*Эрозия* представляет собой процесс механического поверхностного разрушения материала под воздействием внешней среды.

Эрозия происходит при обтекании изделий потоком твердых, жидких или газообразных частиц или при электрических разрядах. При этом ударяющиеся о поверхность материала мельчайшие частицы потока разрушают поверхностный слой и приводят к образованию каверн, бороздок и т. д.

Процесс эрозии усиливается

- с увеличением кинетической энергии потока,
- повышением температуры,
- при коррозионном действии среды и т. д.

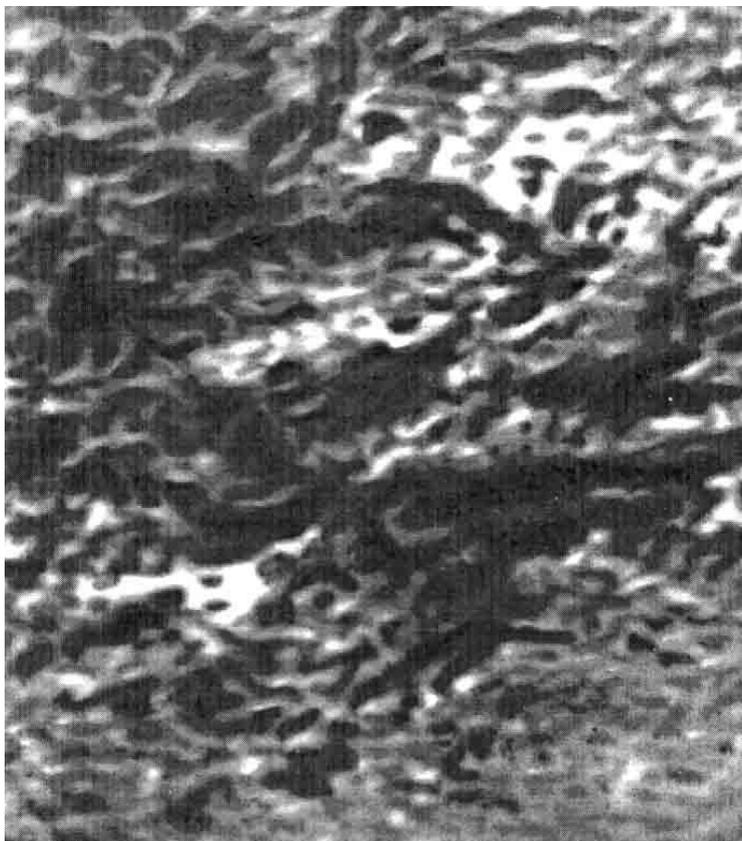


Рис. Участок разрушенной поверхности гребного винта

**Эрозия металлов** (от лат. erosio – разъедание) – постепенное разрушение поверхности металлических изделий в потоке газа или жидкости, а также под влиянием механических воздействий или электрических разрядов.

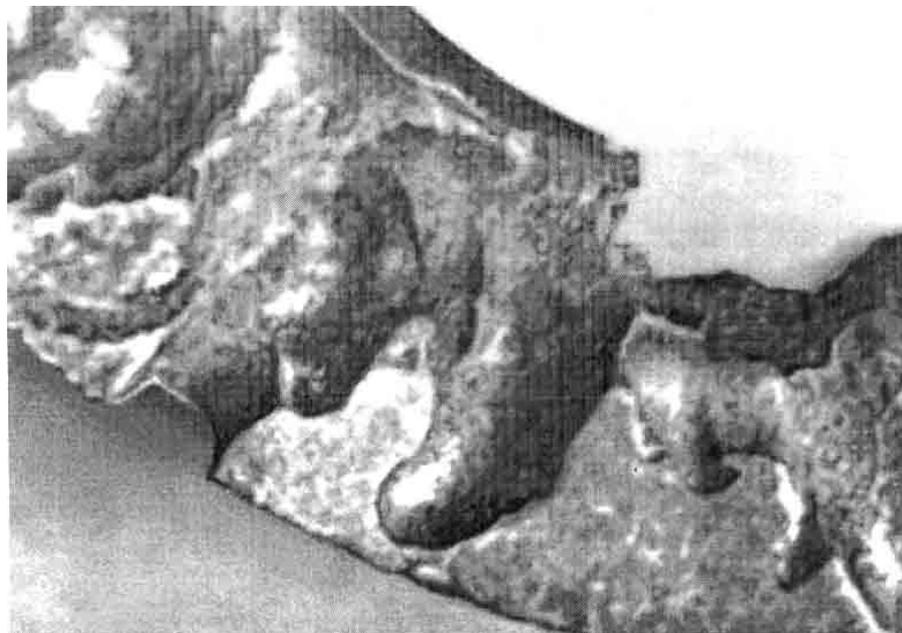


Рис. Всасывающий патрубок насоса, выполненный из чугуна, со следами кавитационной эрозии

# СТАРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

**СТАРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ** — медленное самопроизвольное необратимое изменение свойств **материалов**; изменение физико-химических и механических свойств и структуры материалов при эксплуатации и длительном хранении.

Происходит в *материалах с повышенным уровнем внутренней энергии.*

Старение материалов обусловлено в основном:

- рекристаллизацией материалов,
- диффузией,
- хемосорбцией,
- химическими реакциями,
- коррозионными процессами и увлажнением, вызывающих изменение начальных свойств материалов, из которых изготовлены элементы.

Эти изменения могут привести к повреждению элемента и к опасности возникновения критического отказа системы.

**Рекристаллизация** – процесс роста одних кристаллических зерен поликристалла за счет других.

**Хемосорбция** – процесс сорбции, при котором частицы поглощаемого вещества и поглотителя взаимодействуют химически

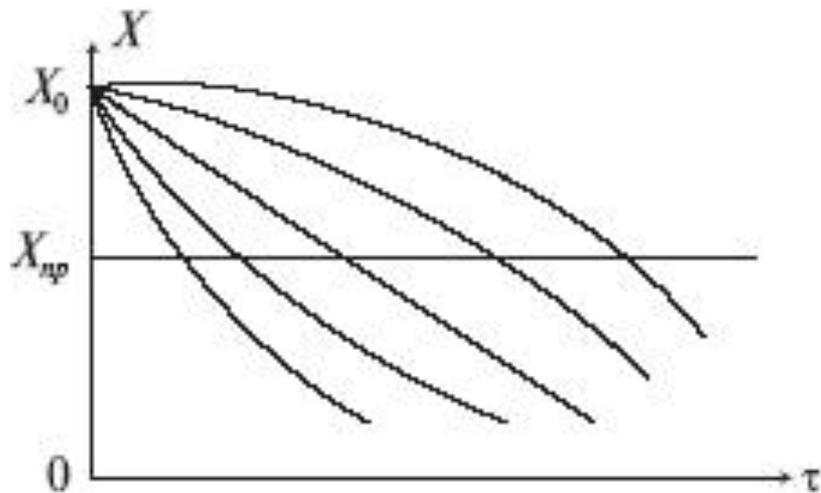


Рис. **Схема снижения свойств материалов в процессе старения**

Во всех случаях старение материалов представляет собой необратимый процесс.

В общем виде процесс снижения свойств материалов может быть представлен некоторыми кривыми (рис).

В зависимости от назначения материала снижение его свойств допустимо до некоторых предельных значений  $X_{кр}$ , это и определяет продолжительность использования материала.

Полимерные материалы намного чувствительнее металлических к различным воздействиям, вызывающим старение. Этим, пожалуй, объясняется некоторая замедленность в применении пластмасс для долговременно нагруженных конструкций.

Сильно подвержены старению **резины,**  
**пластмассы** и **дерево.**

У этих материалов под воздействием

- кислорода воздуха,
- влаги,
- прямых солнечных лучей,
- высоких или низких температур, а иногда и
- микроорганизмов

происходит разрушение цепей молекул  
(**деструкция**).



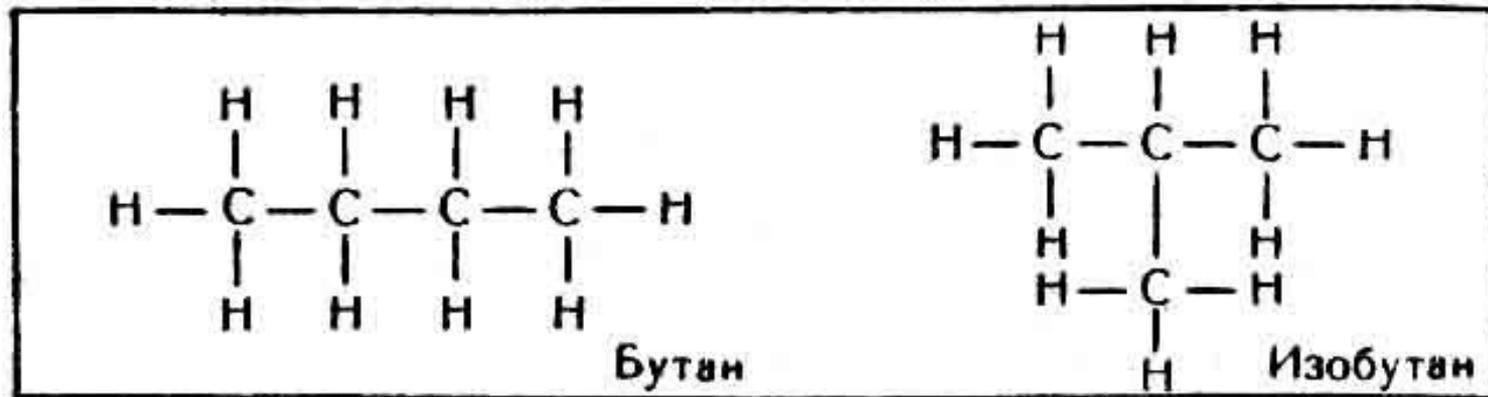
Бутлеров  
Александр Михайлович  
(1828-1886)

Дело в том, что на свойства веществ существенное влияние оказывает порядок соединения атомов в молекуле.

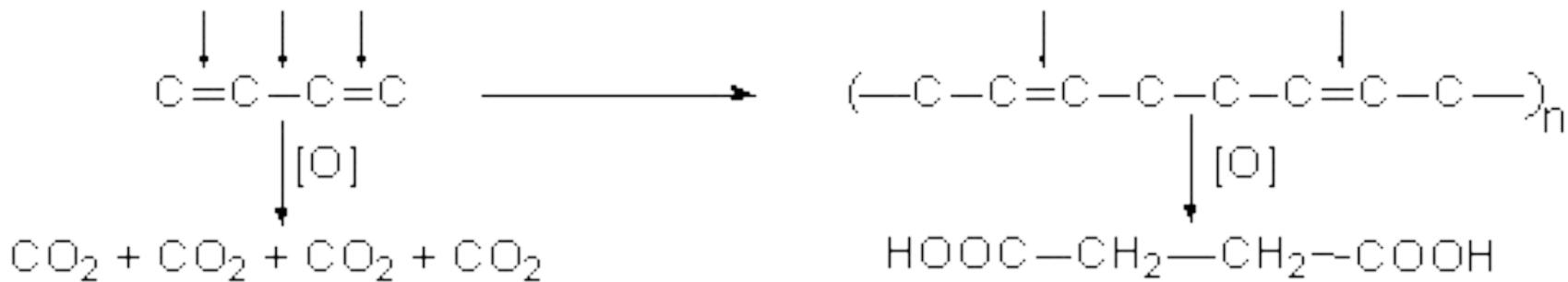
**Различному порядку взаимосвязи атомов при одном и том же качественном и количественном составе молекул должны отвечать, как учит теория химического строения, разные вещества.**

Основы теории химического строения создал в 1861 г. профессор Казанского университета Александр Михайлович Бутлеров.

Так, например, существуют два бутана, имеющих один и тот же состав  $C_4H_{10}$ , но различающихся по своему строению и свойствам. Это явление носит название **изомерии**.



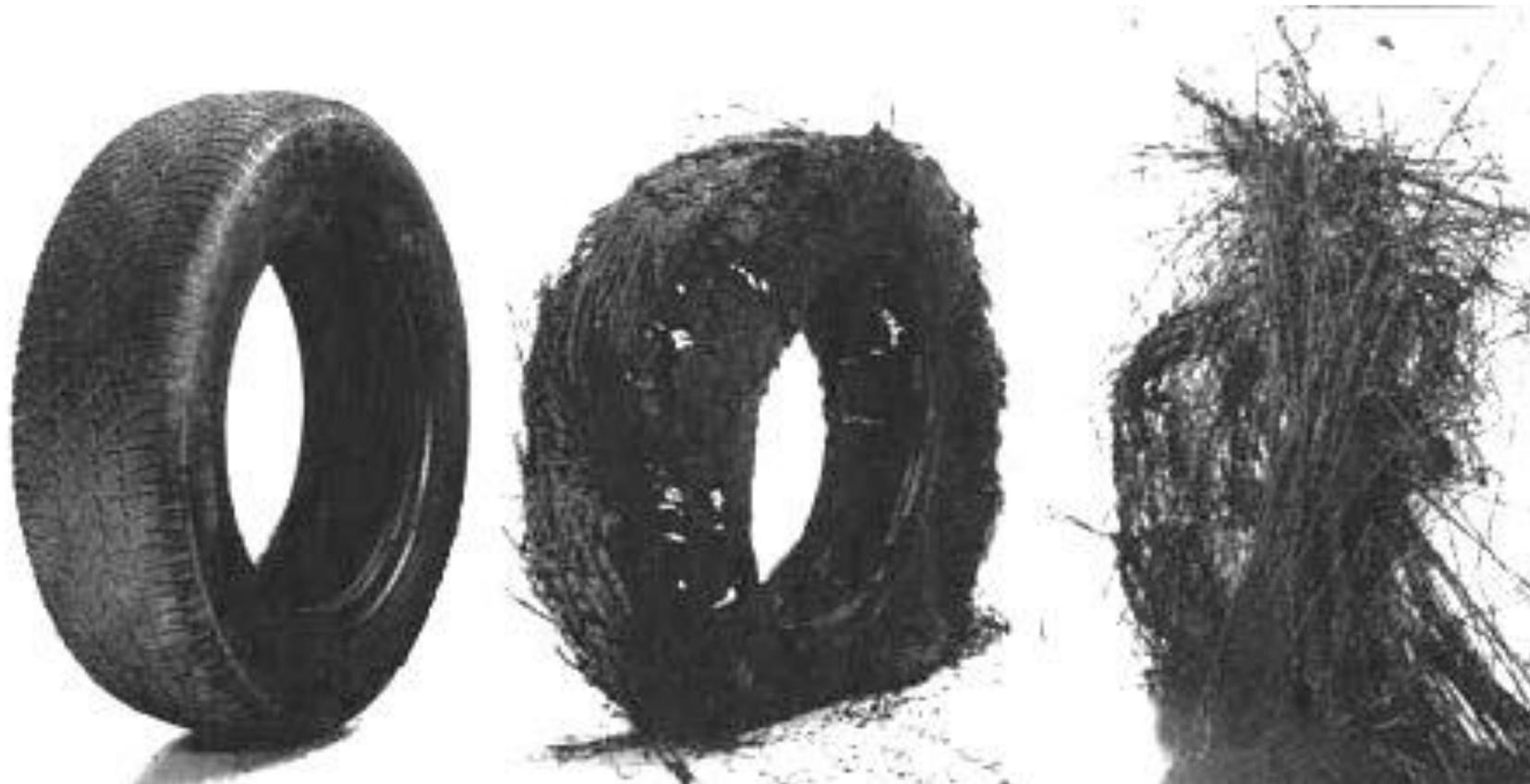
Старение резиновых и других уплотнительных прокладок из полимерных материалов проявляется в затвердевании и охрупчивании их за счет «сшивки» молекул материала.



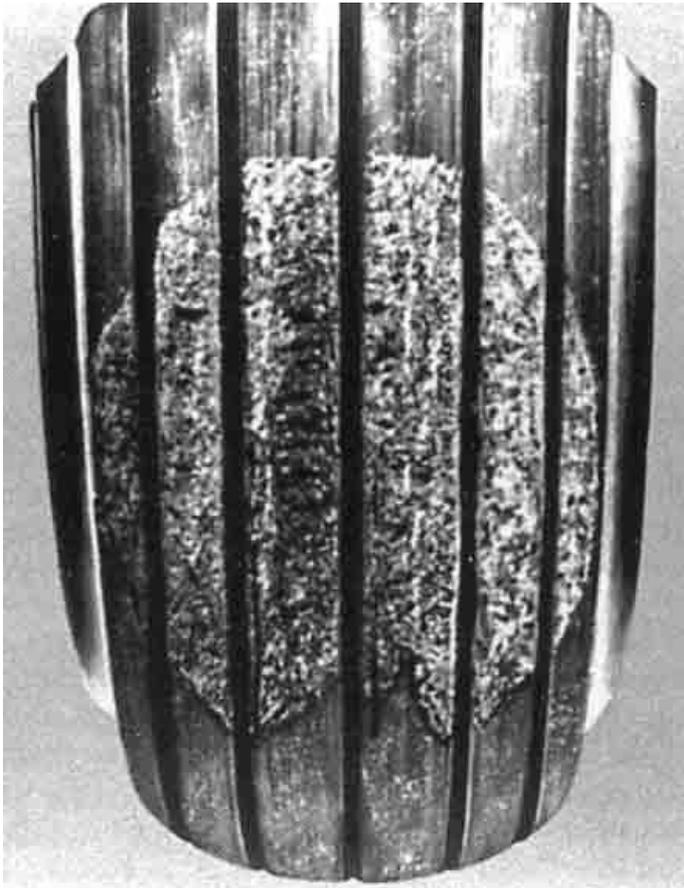
Результатом этого процесса – старения - является потеря прочности и пластичности полимеров, расслаивание и набухание резины, гниение дерева.



**Рис. Изменения состояния (старение) стирательной резинки - ластика**

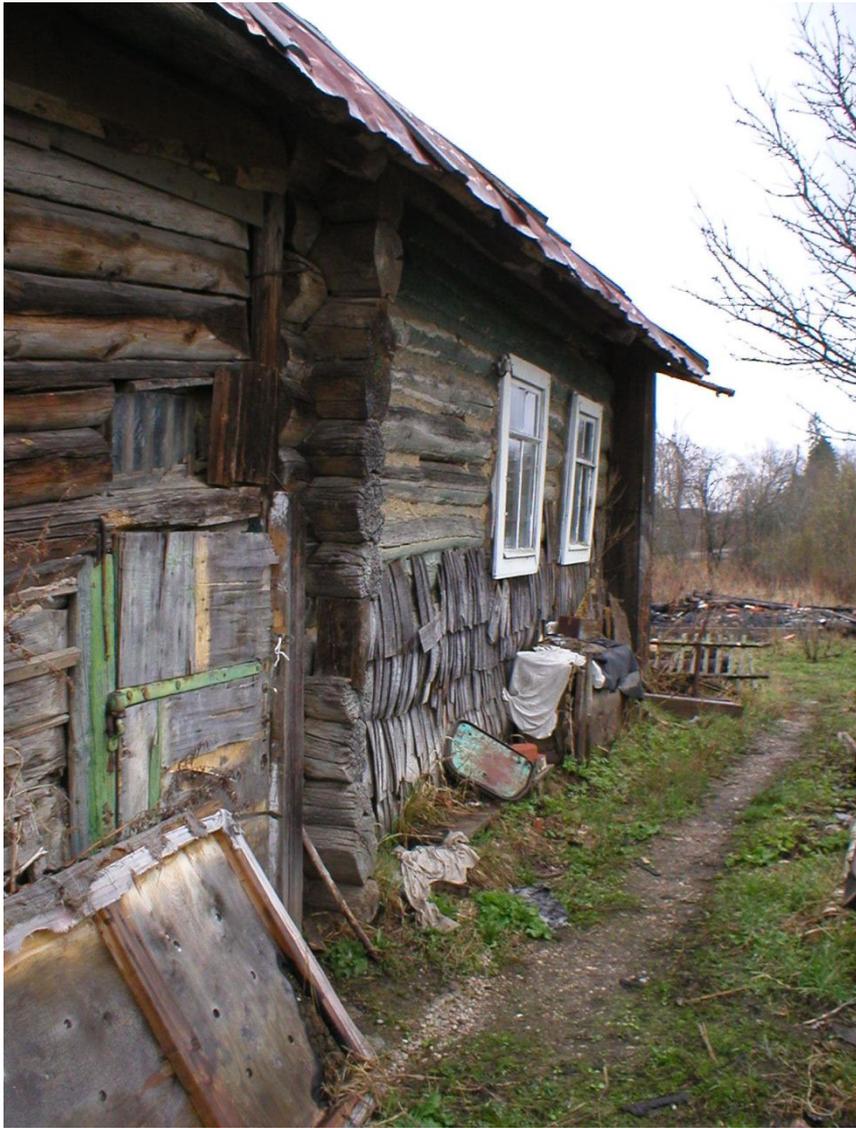


**Рис. Изменения состояния пневматика под влиянием старения и нагрузок**



Покрышки и камеры бракуются, если обнаружены значительные площади других дефектов, а также сеток трещин от старения.

Рис. Глиссирование (аквапланирование) колес, возникающее когда ВПП покрывается слоем воды или мокрого снега в совокупности с заблокированными тормозами («юз») вызывают интенсивный нагрев пневматика и стремительное тепловое «старение» (деградацию) его резиновых компонентов



**Рис. Изменения состояния деревянных изделий под влиянием старения**



**Рис. Изменения состояния уплотнительных прокладок под влиянием старения**



Рис. Направленный под углом к поверхности остекления луч света может помочь выявить всякого рода дефекты – мелкие трещины, расслоения, «серебрение» (появление мелких трещин как следствия влияния сочетания динамических и статических нагрузок, атмосферных перепадов температуры и т. д.)

Образование «серебра» - сетки мельчайших трещин на поверхности оргстекла – еще один пример старения полимерных материалов, широко используемых в остеклении кабин и салонов самолетов и вертолетов.



Рис.  
**Образование  
«серебра» -  
сетки  
мельчайших  
трещин на  
поверхности  
оргстекла**



Поскольку эффективных способов оценивания действительного технического состояния неметаллических материалов пока не существует, в процессе ремонта большинство деталей из

- ✓ резины,
- ✓ дерева и
- ✓ некоторых пластмасс

**заменяется без дефектации.**

Следует иметь ввиду, что материал деталей, хранящихся в ЗИП, также стареет.

Поэтому на оборудование летательных аппаратов и авиационных двигателей принято устанавливать только такие детали из ЗИП, у которых осталось **не менее 50%** гарантийного срока хранения.

Для защиты от старения в процессе хранения

- **резиновые** детали пересыпаются **тальком**,
- **войлочные** и **кожаные** – **дустом**.

Эти методы защиты замедляют старение полимеров, но не исключают его полностью.

**Использованная литература:**

- 1. Ремонт летательных аппаратов: Учебник для вузов гражданской авиации. А. Я. Алябьев, Ю. М. Болдырев, В. В. Запорожец и др.; Под ред. Н. Л. Голего. – 2-е изд., перераб. и доп.- М: Транспорт, 1984. – 422 с.*
- 2. Бейлин. Л. А., Мейер А. А. Ремонт самолетов, вертолетов и авиационных двигателей. Учеб. пос. для сред. учеб. заведений ГА. – М.: Транспорт, 1966. – 428 с.*
- 3. Ингликов М. А. Ремонт технических систем. Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1978. – 322 с.*
- 4. Ремонт и техническая эксплуатация лесотехнического оборудования. – Л.: Агропромиздат. ленингр. отд-не, 1989. – 312 с.*
- 5. Горохов В. А., Лоцманов С. Н., Михайлов А. А., Петрунин И. Е. Авиационное ремонтное дело. Часть 1 и часть 2. Под ред. д.т.н. проф. А. А. Михайлова. М.: Военное издательство МО СССР, 1970.*

Якущенко В.Ф. Ремонт воздушных судов: Учебное пособие  
/ СПбГУГА. С.-Петербург, 2011.