A military aircraft, possibly a fighter jet, is shown in flight against a clear blue sky. The aircraft is white with some markings, and its wings are spread. The background is a gradient of blue, suggesting a clear sky.

2.0

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ
ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ
АВИАЦИОННЫХ
ДЕТАЛЕЙ И
СОБЛИЦЕЛЫЙ**



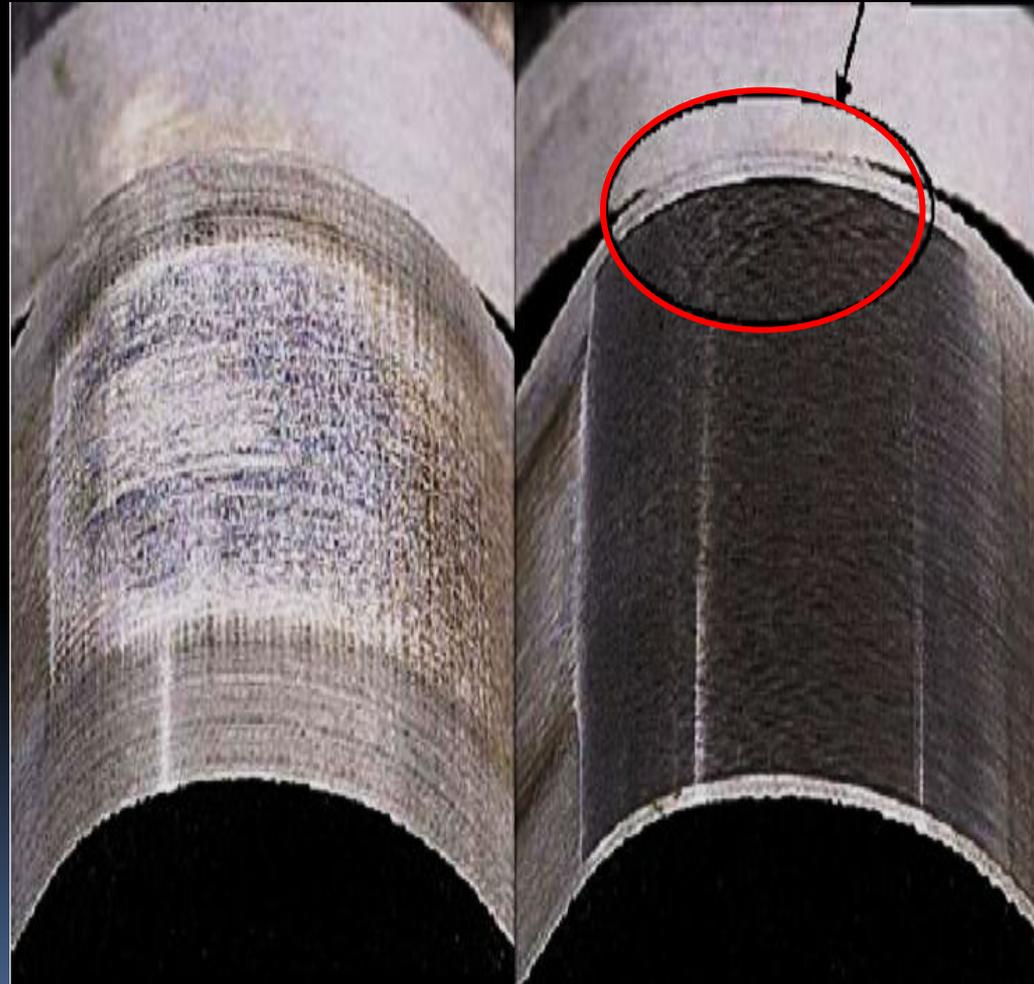
2.3.

**ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА НА
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ
АВИАЦИОННЫХ
ДЕТАЛЕЙ, АГРЕГАТОВ
И СИСТЕМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ**

Разные участки

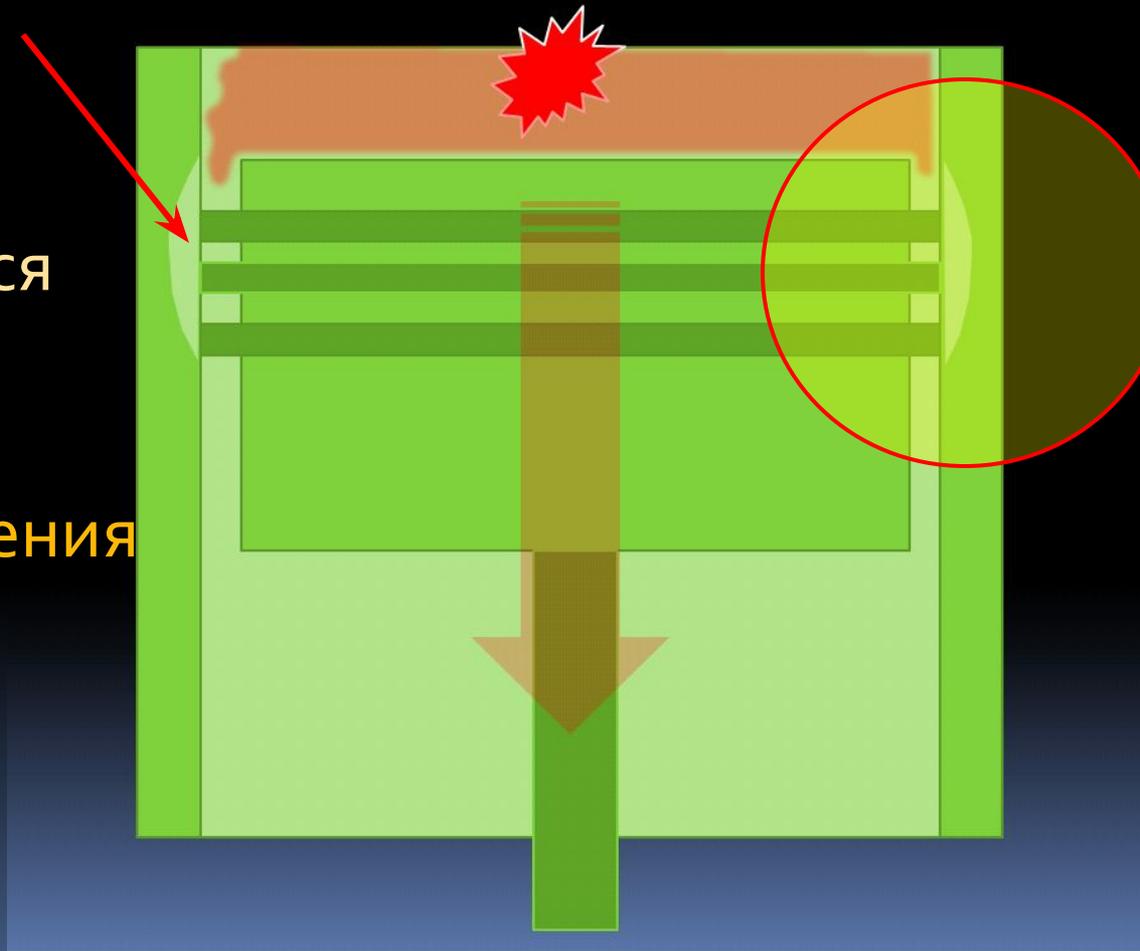
поверхности
авиационной детали
изнашиваются на
разную величину.

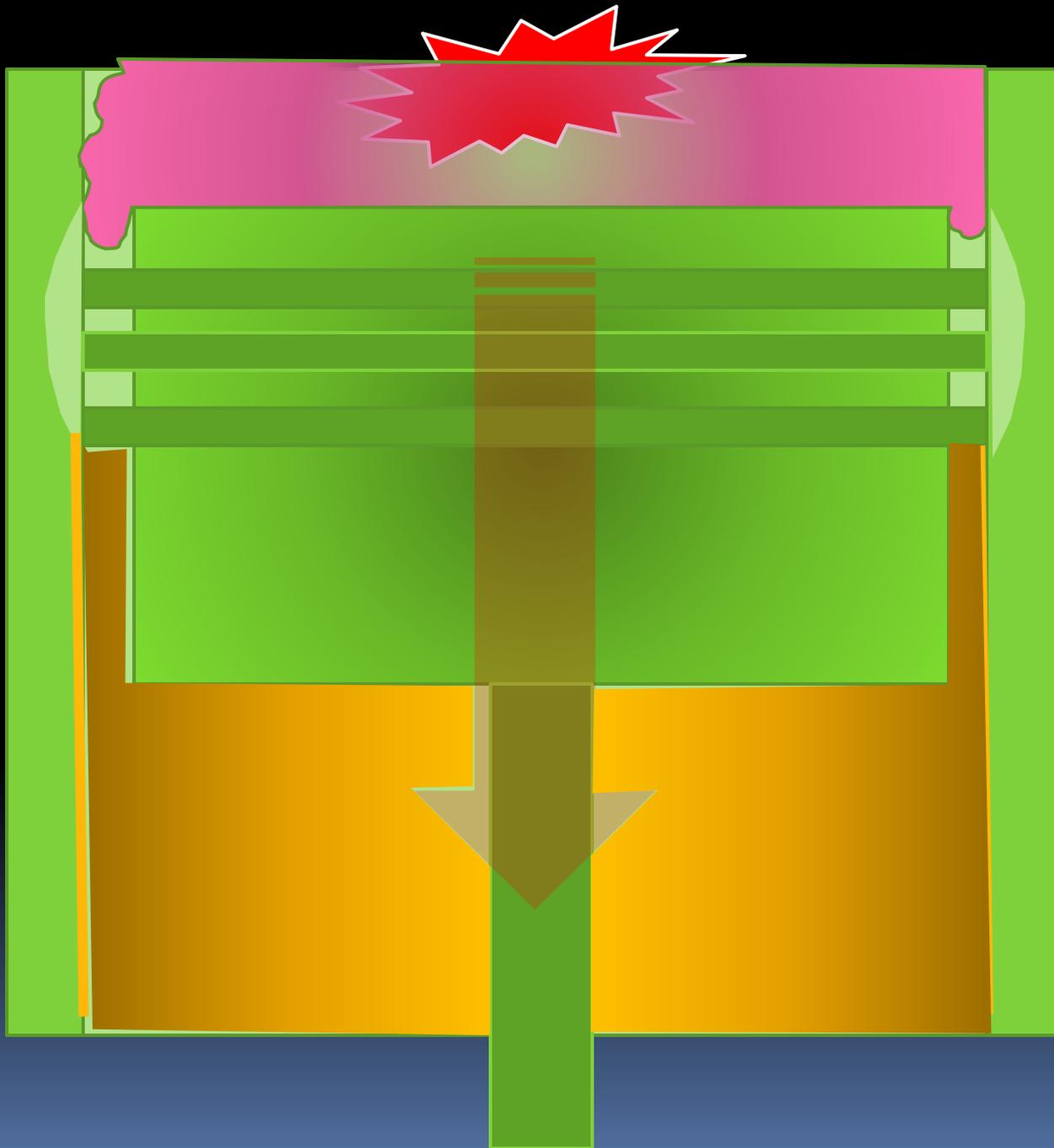
- Объясняется это
разными условиями
трения.



Чаще всего

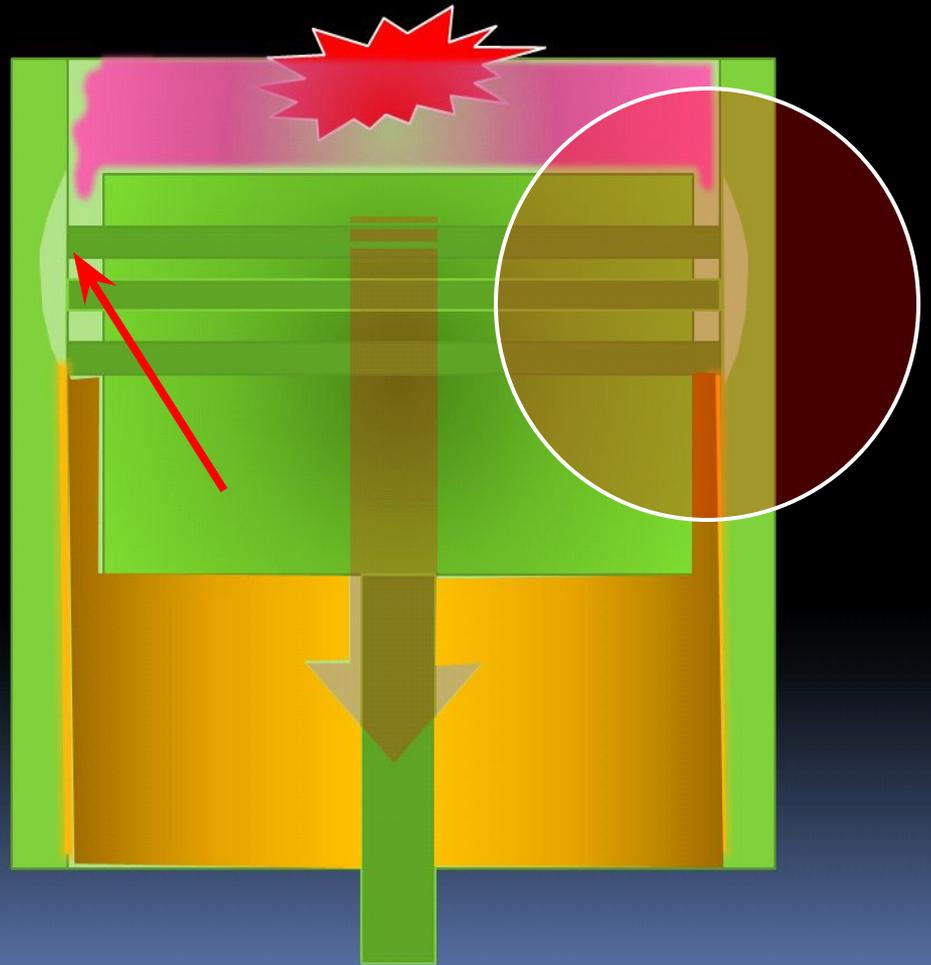
неравномерное
изнашивание является
следствием
неравномерного
распределения давления
и скорости
относительного
перемещения,





А так же

различными
условиями смазки
на поверхностях
трения
контактирующих
деталей.



Чем выше

давление P

в месте контакта,

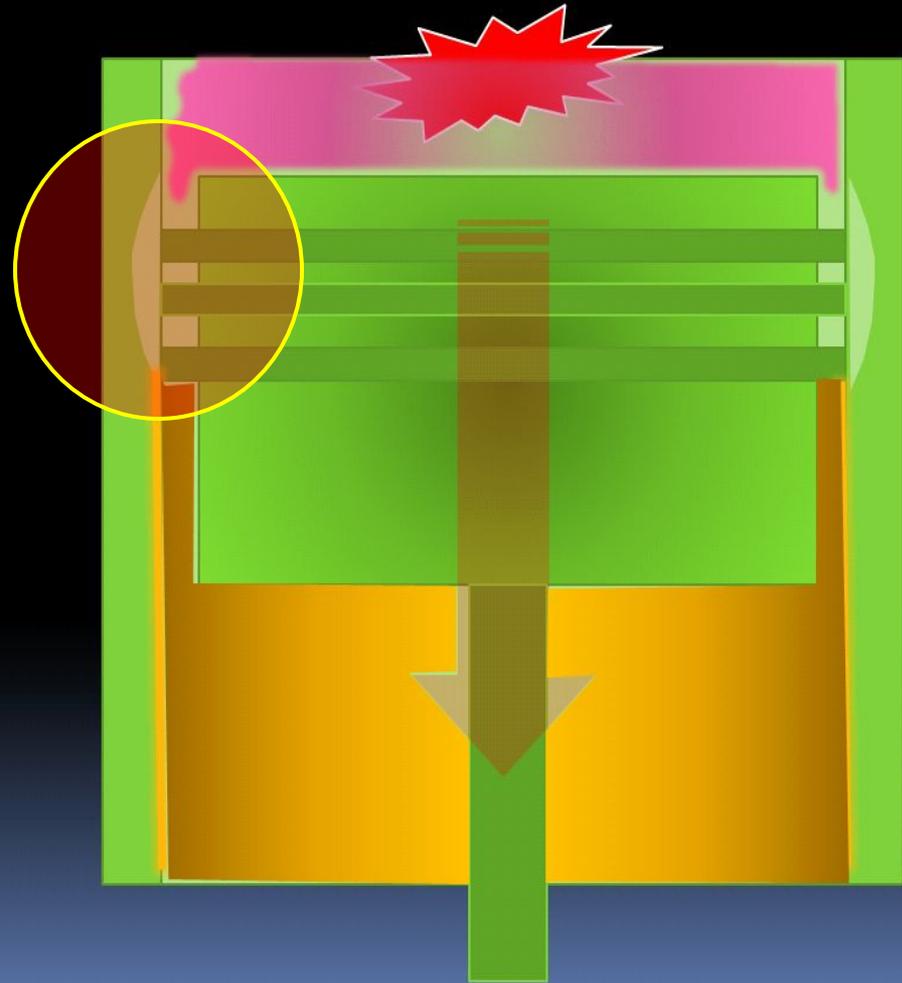
тем интенсивнее

процесс

изнашивания и

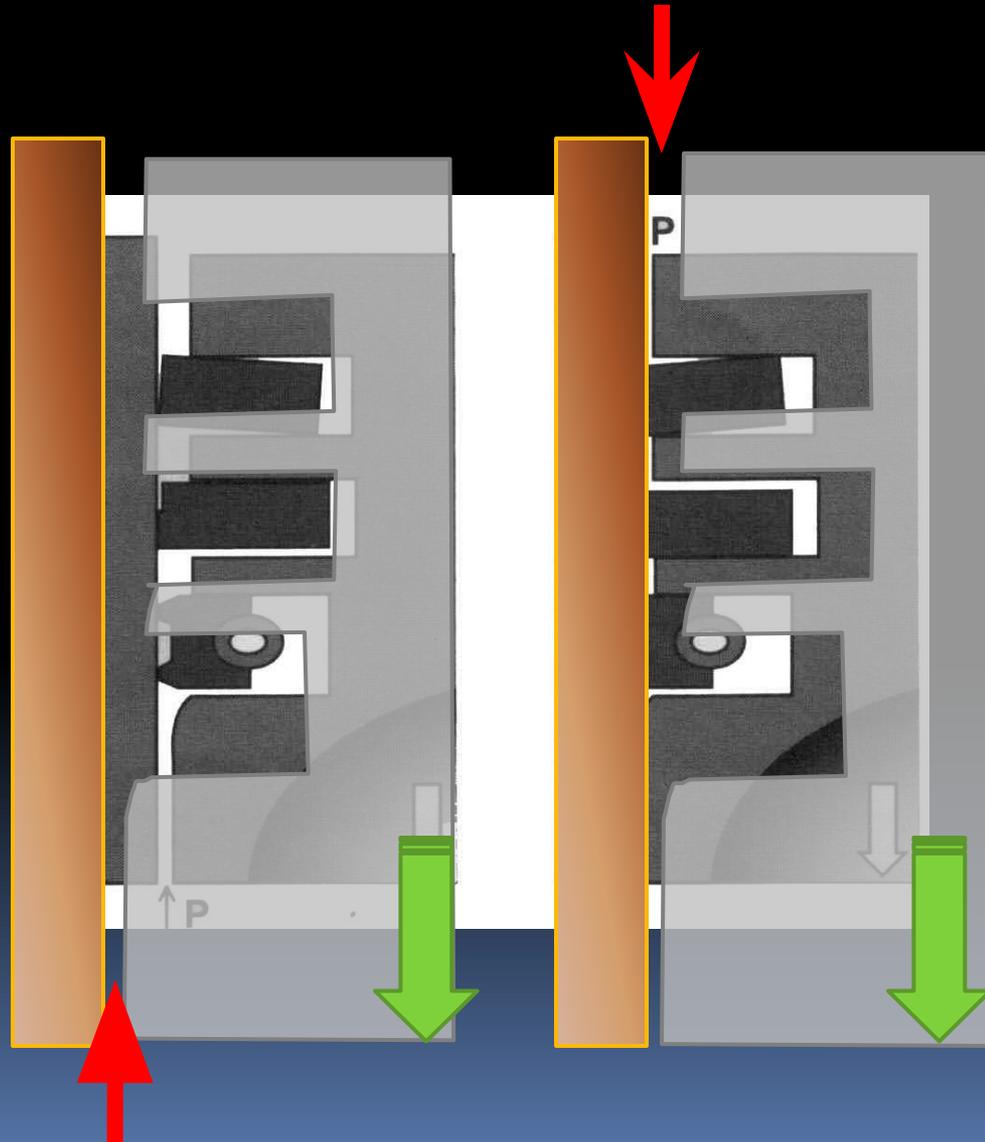
величина *износа*

$$U = KPL.$$



Изменение

скорости
проскальзывания
поверхностей трения
изменяет или *условия*
изнашивания или
величину пути трения l
за рассматриваемый
период

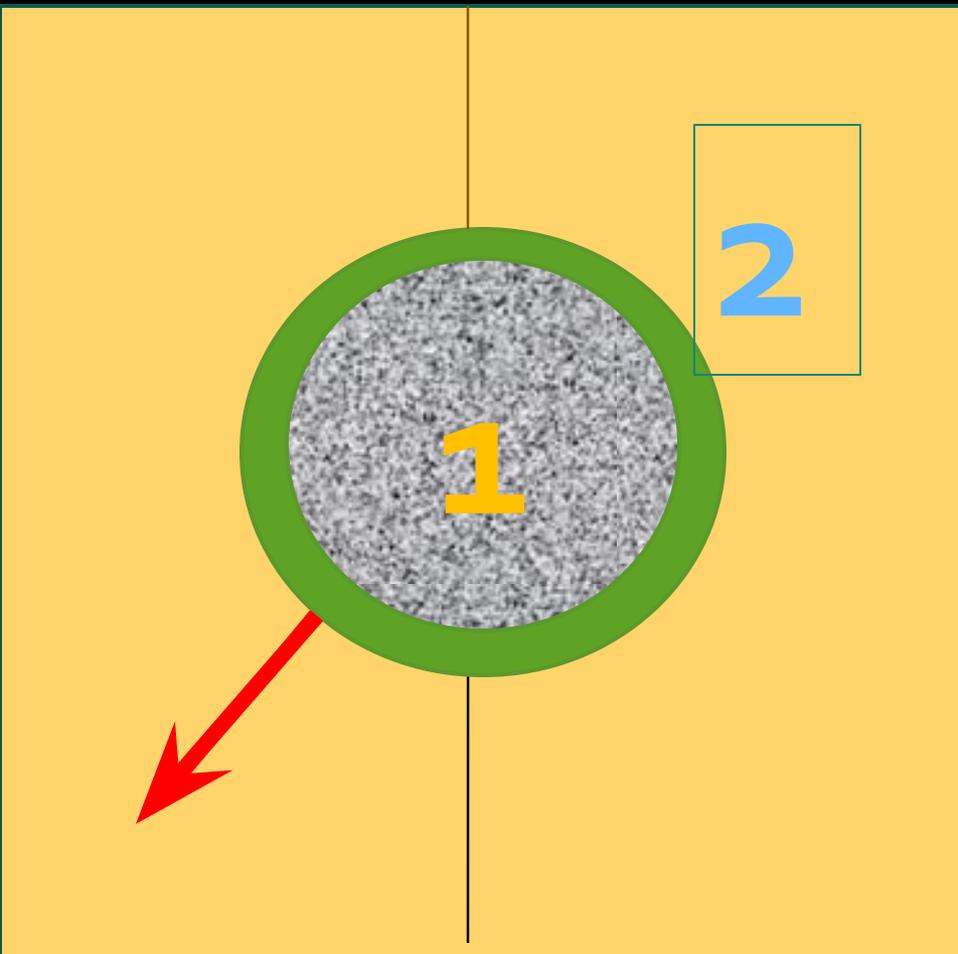


Примеры

часто встречающегося
неравномерного изнашивания
авиационных деталей
представлены на рис. 2.18.

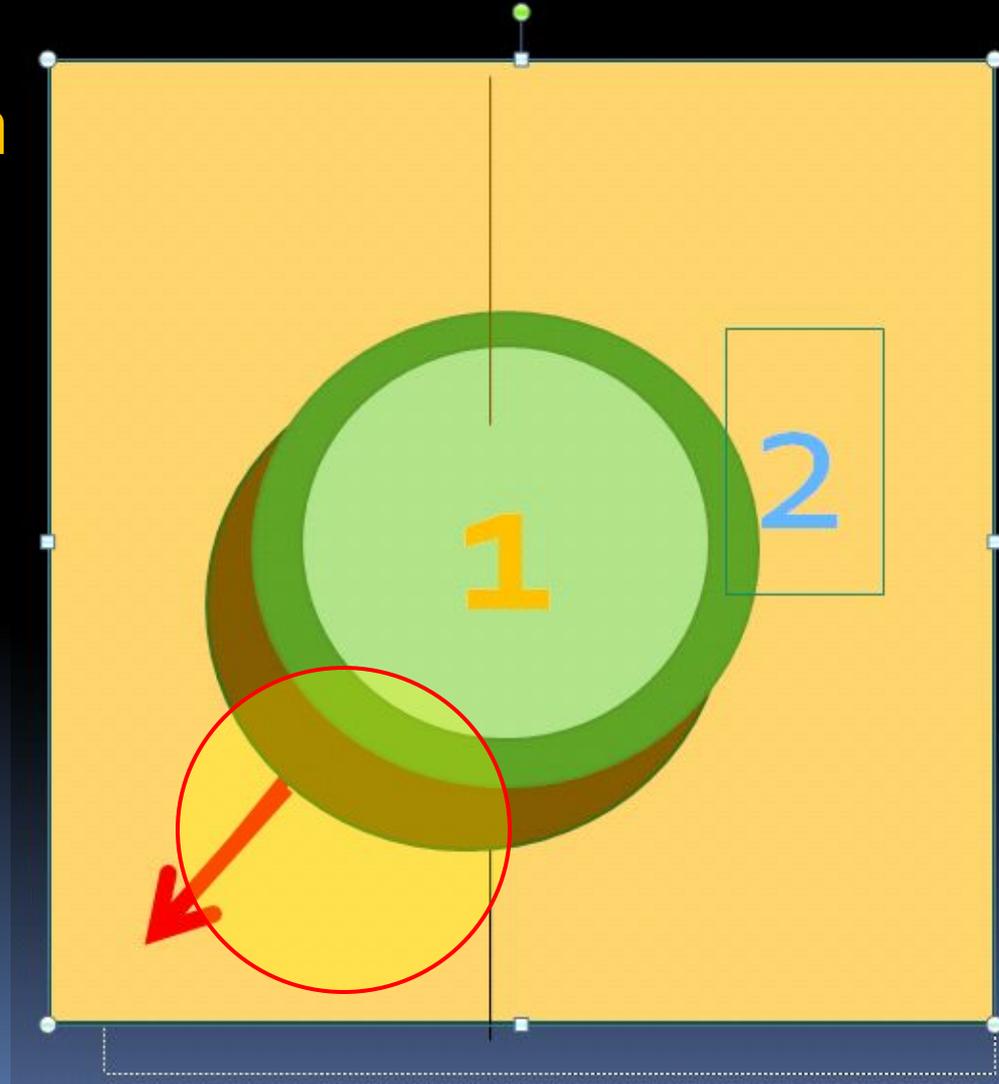
- Изношенные участки **выделены** более *тёмным* цветом.

Рис.2.18



На рисунке

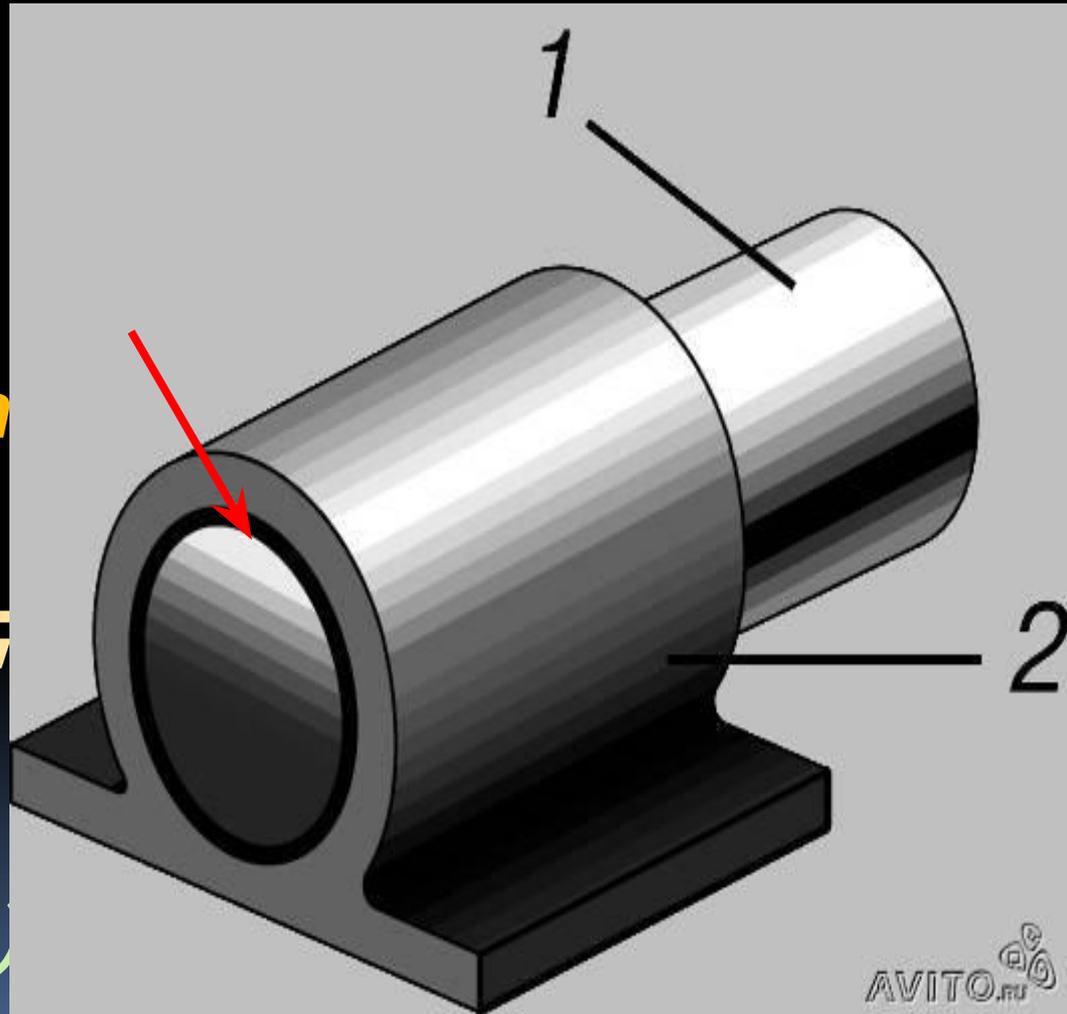
представлена схема
одностороннего
изнашивания тел
вращения,
вызванного
направленным
нагрузением пары
трения.



Типовыми

примерами пар трения с таким характером изнашивания **могут** быть:

- шатунная **шейка (1)**;
- Подшипник **скольжения** коленчатого вала (2)

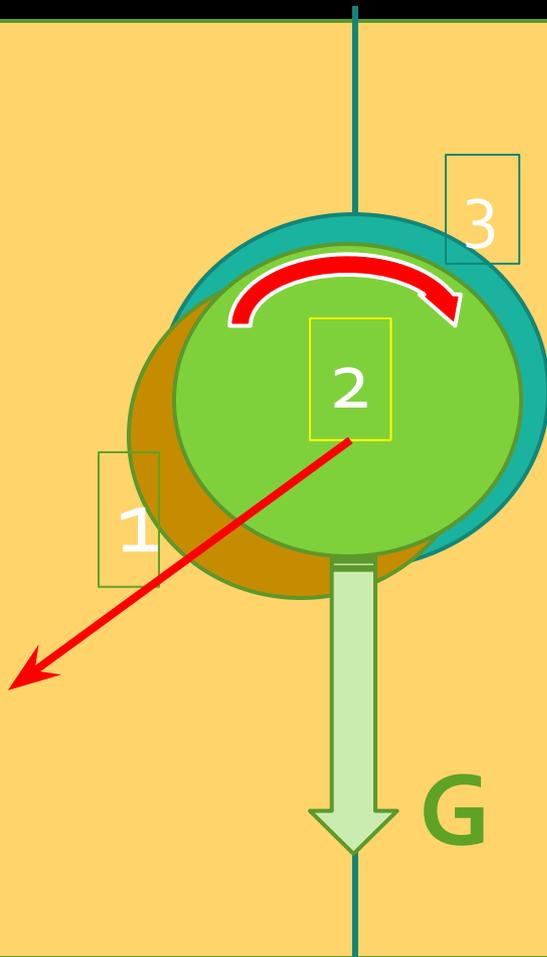


А так же

малоподвижные
болтовые
соединения со
строго
направленной
передачей внешней
нагрузки.



Схема изнашивания

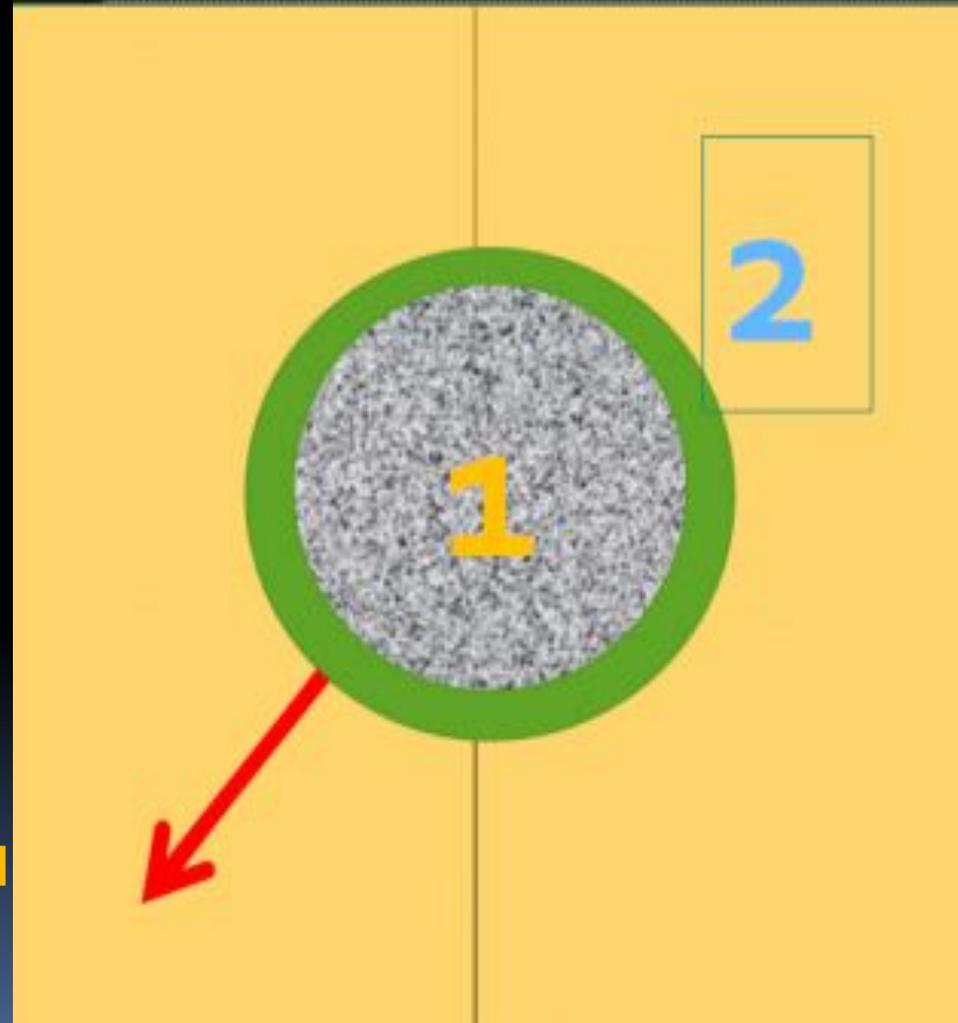


- пары «вал-подшипник» при *уравновешенном* роторе изделия
- В *этом* случае вал (2), вращающийся в подшипнике, **смещен от вертикали**, проходящей через ось .

За счет

наличия **неуравновешенности** вал, в процессе вращения, колеблется **около этого положения.**

- **Вся** поверхность вала (1) работает в **одинаковых** условиях трения и изнашивается **равномерно.**



Подшипник (1)

изнашивается

ТОЛЬКО *в месте*

контакта с

валом

подшипника

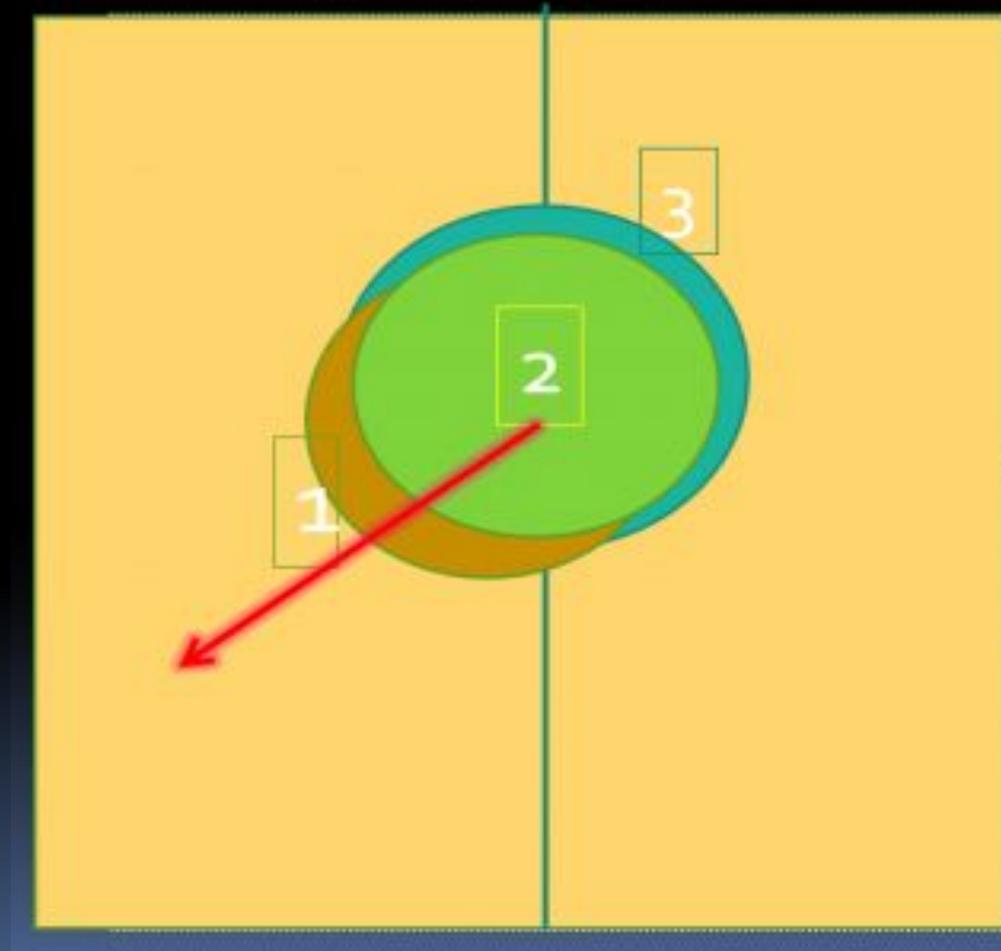
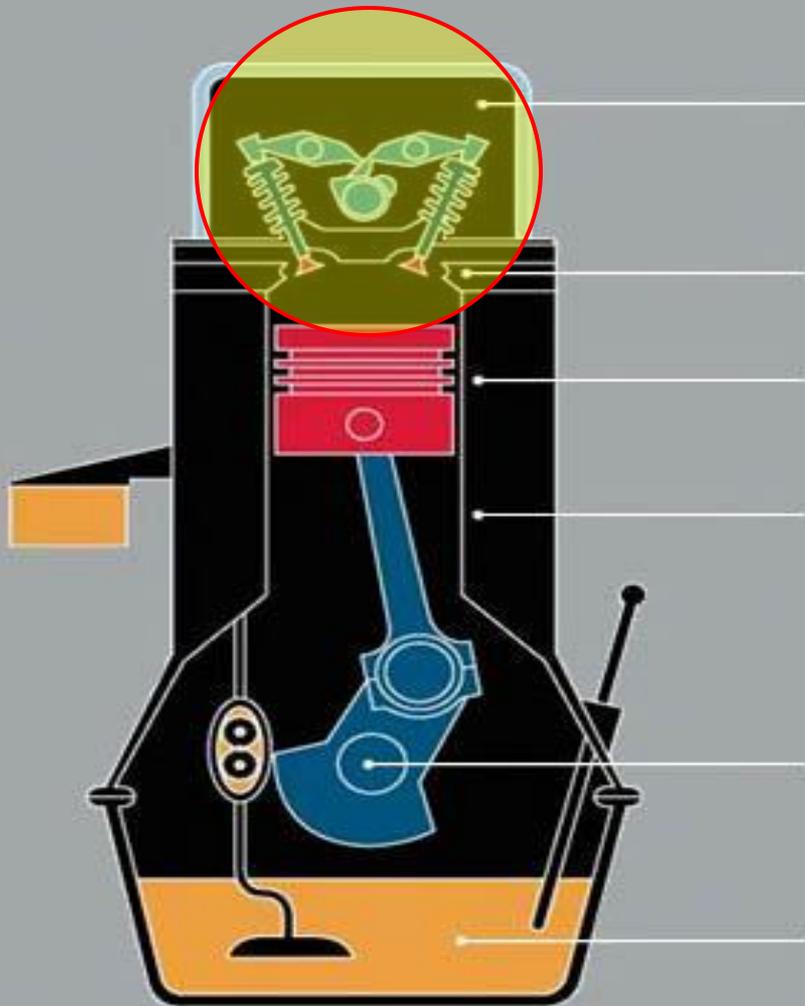
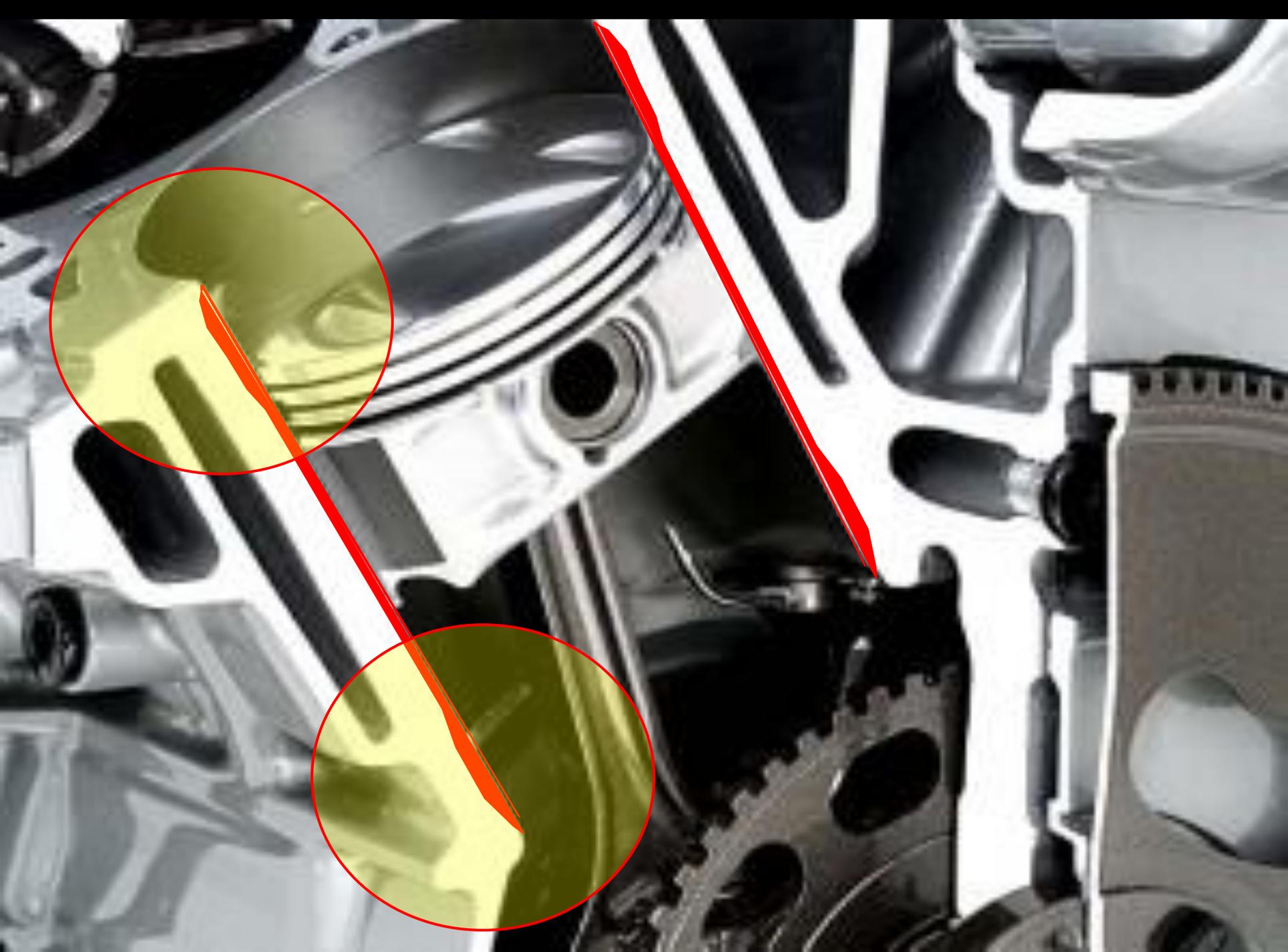


Схема изнашивания деталей кулачковых механизмов (рис. 2.18)

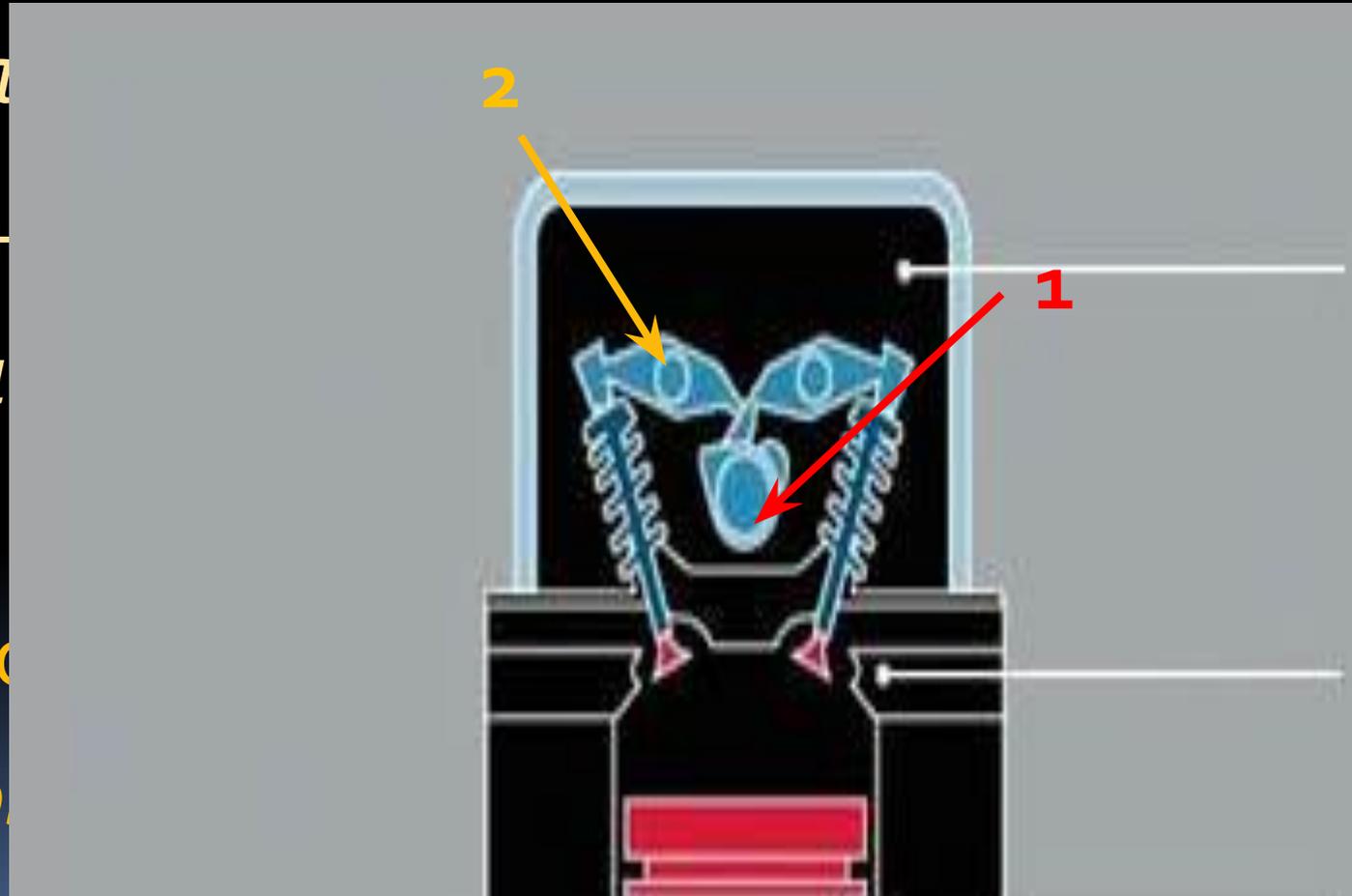


Неравномерному
изнашиванию
подвержены
детали
кулачковых
механизмов (рис.
2.18 в).



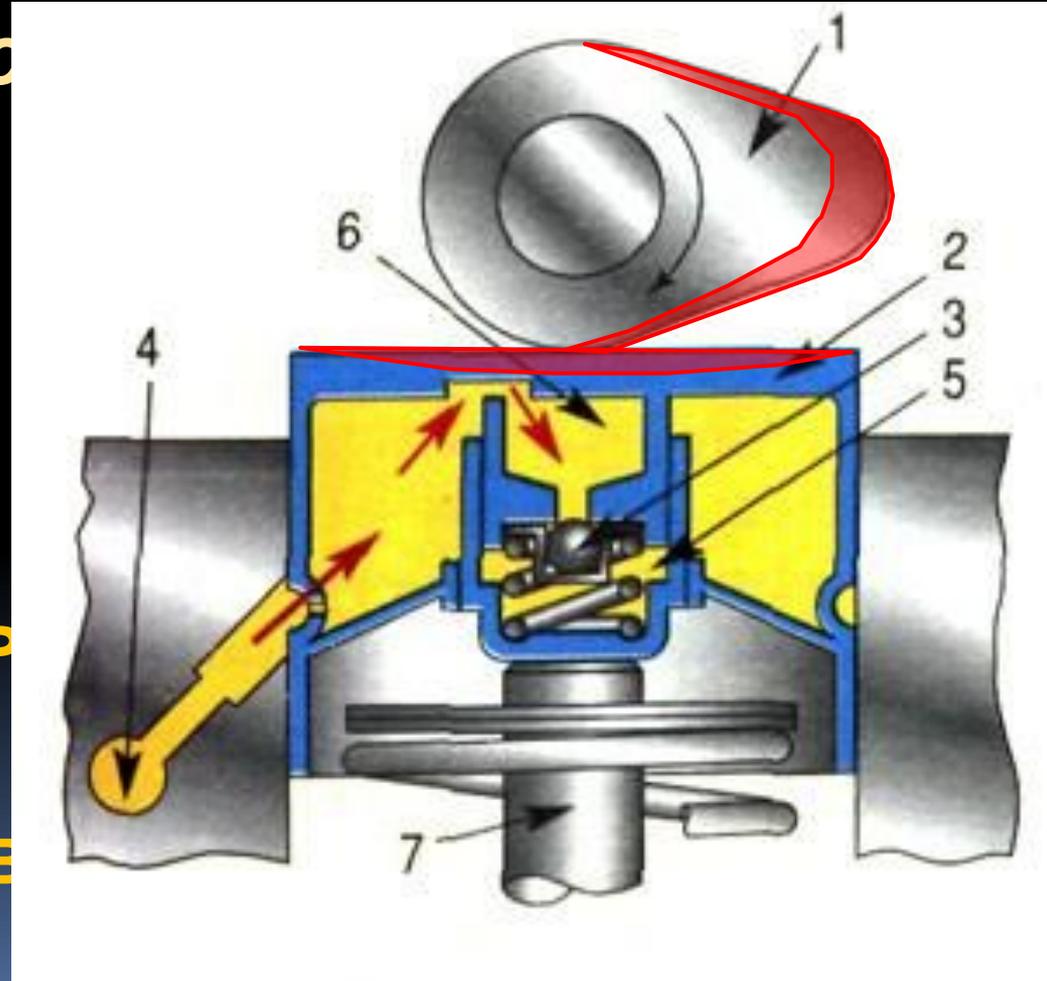
Неравномерные

износы кулачков
и сопряжен
ним толка
нарушают
регулиров
параметр
механизма



Так изнашиваются

детали *клапанного*
механизма
двигателей
внутреннего
сгорания, что
изменяет моменты
открытия и
закрытия клапанов



В результате

нарушается процесс
образования *горючей
смеси*, горения и
выхлопа
отработанных газов.

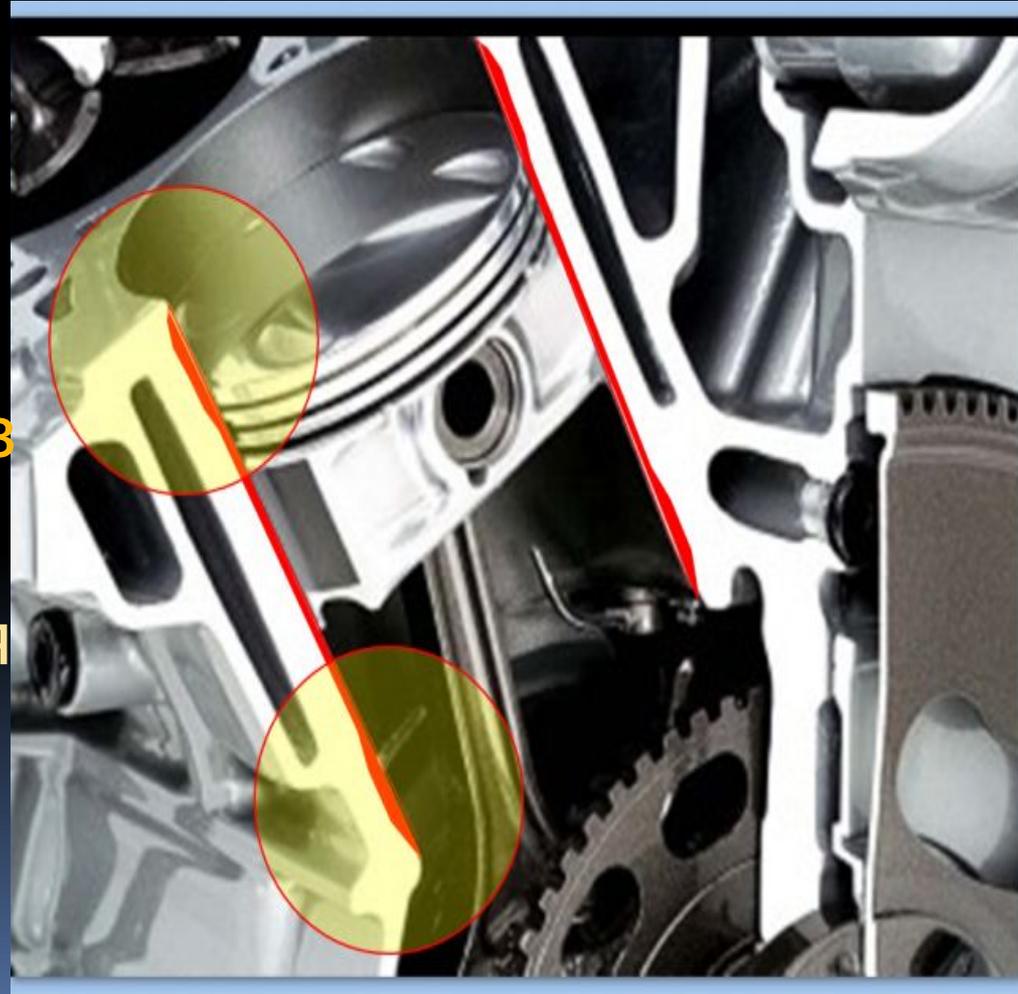
- **Мощность** двигателя *падает*, а выхлоп **вредных** газов в атмосферу **увеличивается**.



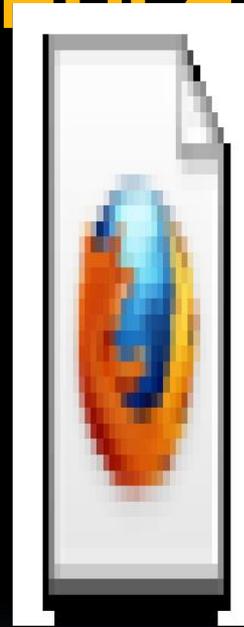
Схема

изнашивания пары трения в условиях возвратно-поступательного движения

На более
протяженной детали
(2) образуются *два*
максимума износа в
тех местах, где
скорость скольжения
близка к нулю.



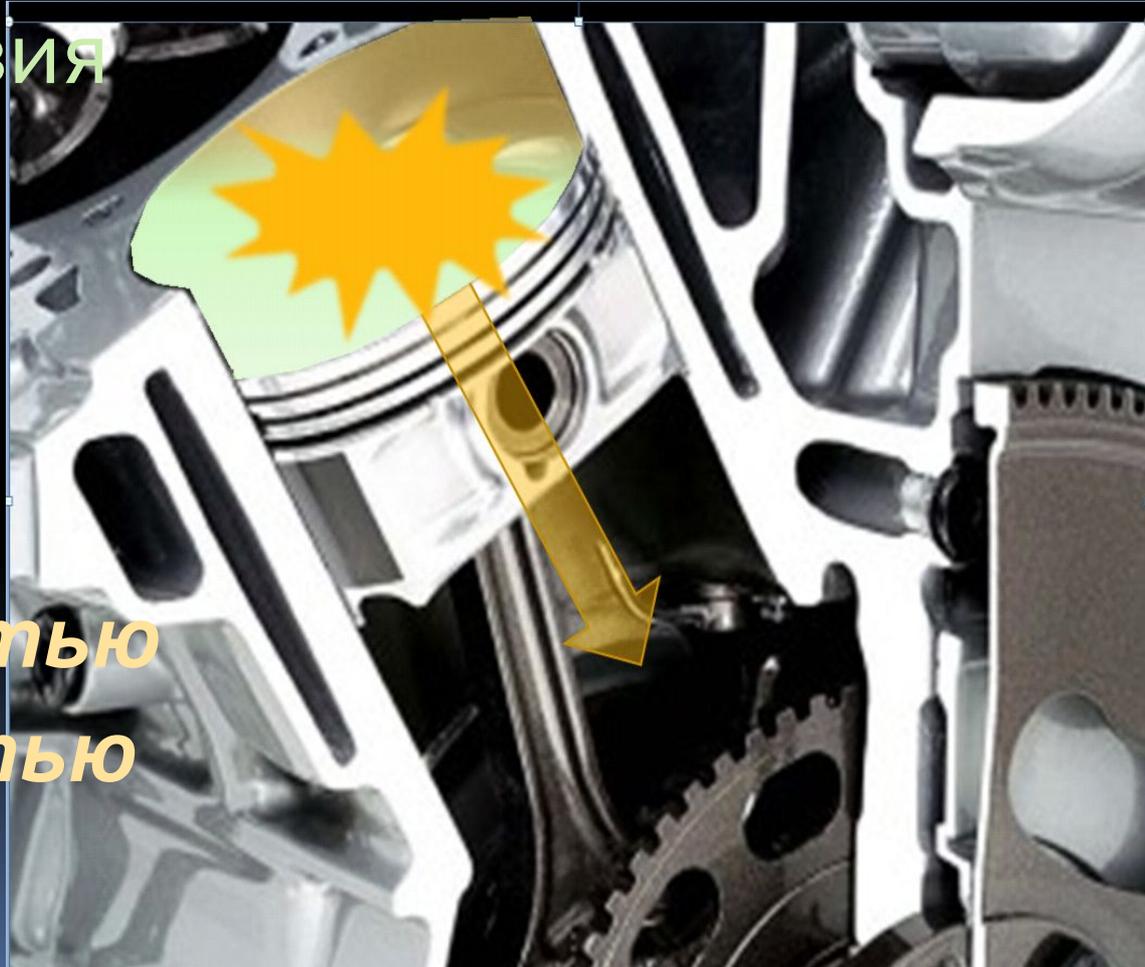
Паровая машина : механизм износа

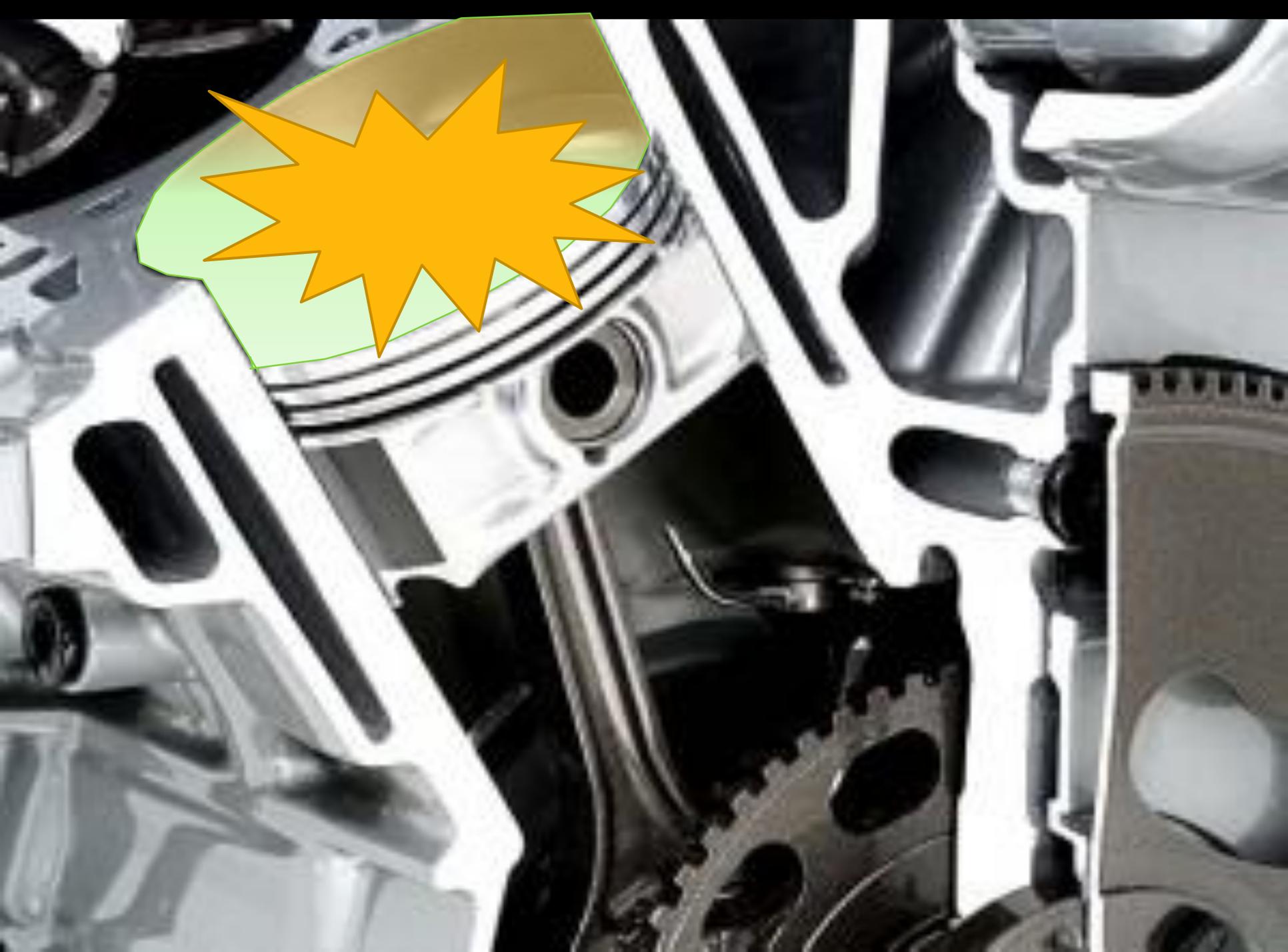


“\`ÄÏÄÄß \`ÄØÉÍÄ.htm

Здесь

создаются условия
молекулярно-механического
изнашивания,
обладающего
большой *скоростью*
и *интенсивностью*





Такое изнашивание

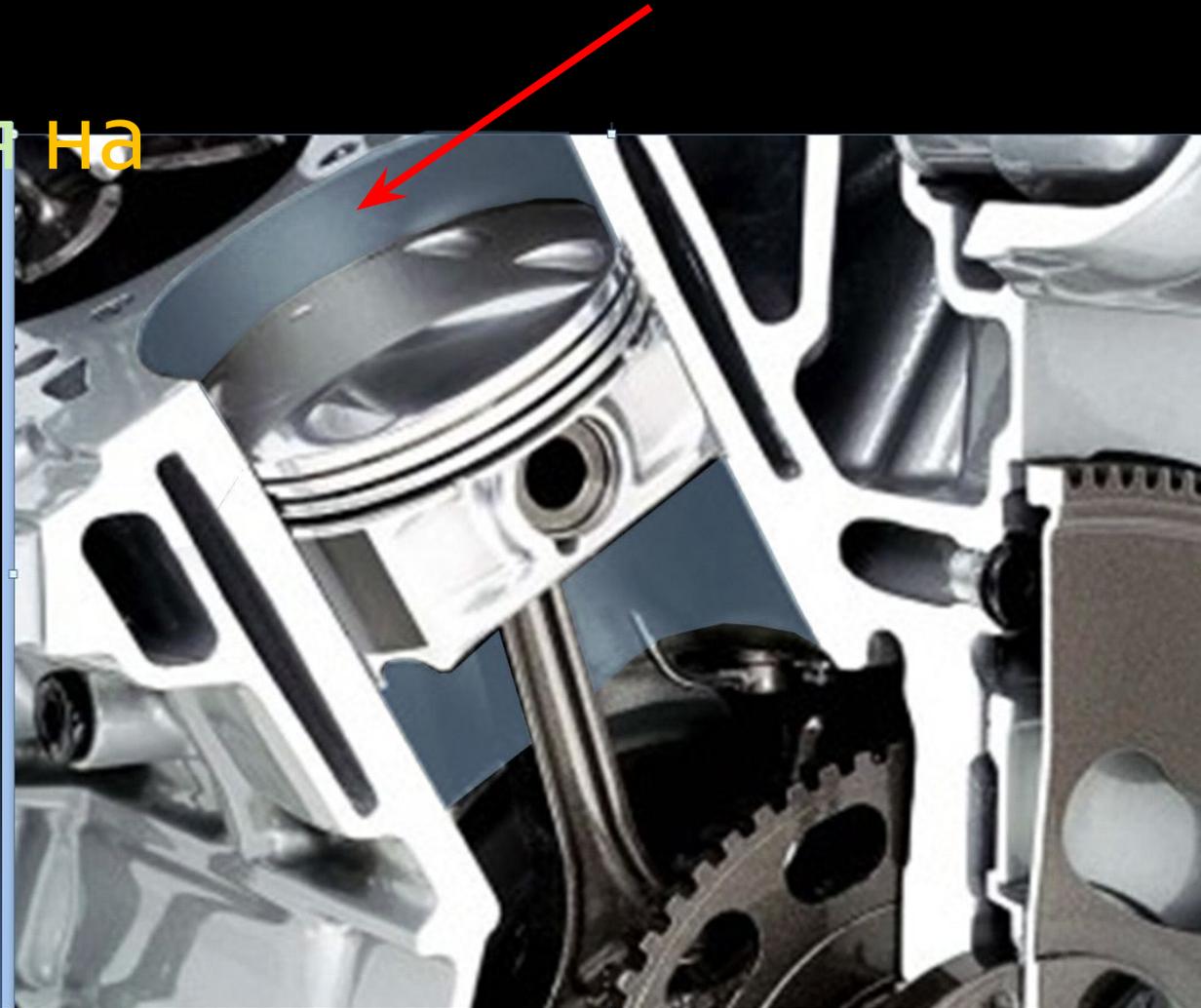
наблюдается на

зеркала

цилиндров

поршневых

двигателей

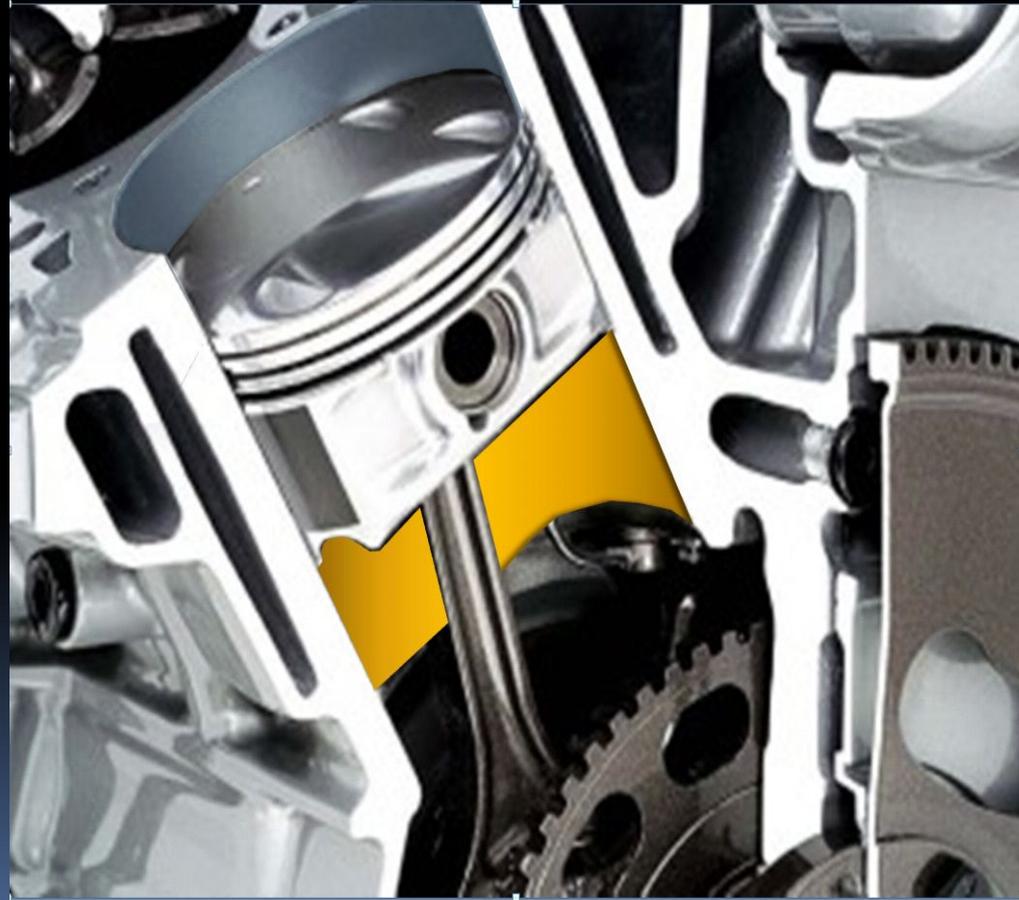




Большая величина

выработки у
верхней мертвой
ТОЧКИ вызвана:

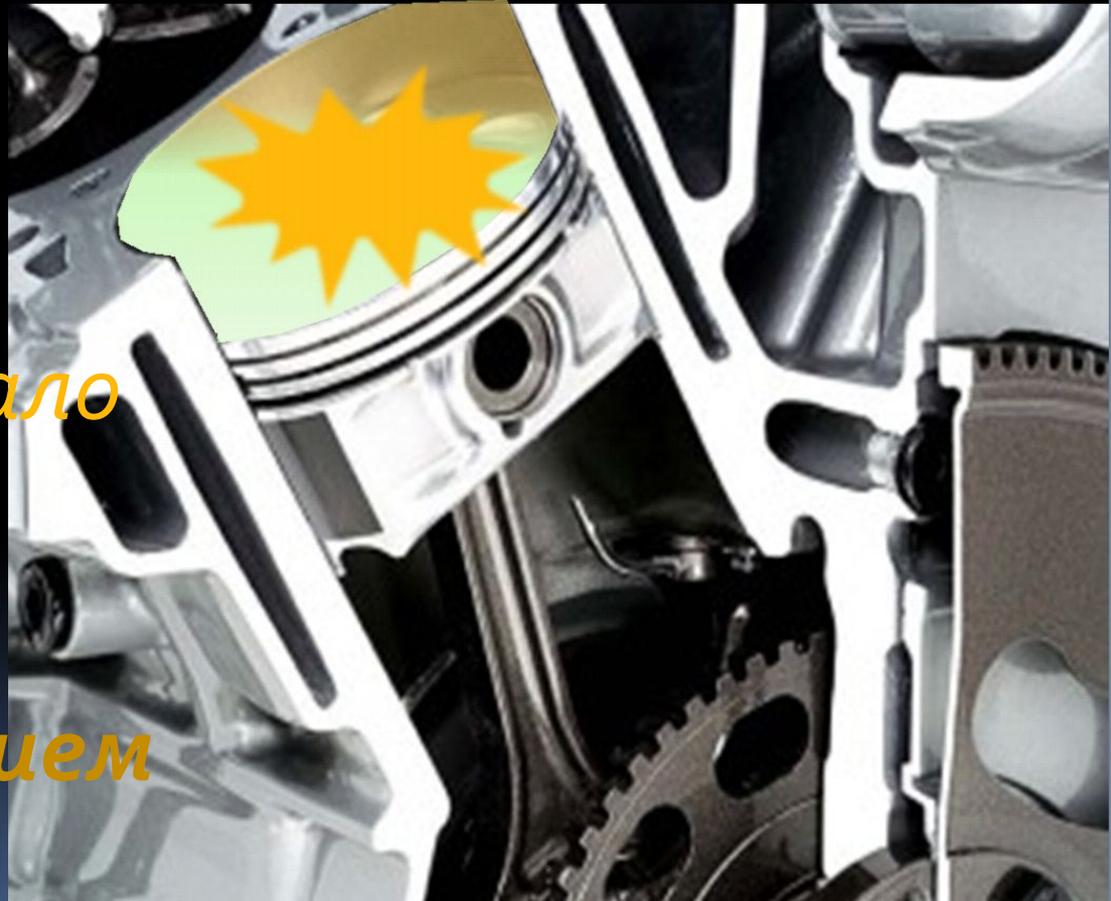
- *недостаточной*
смазкой ЭТОГО
участка;



Повышенным

давлением газов,
передаваемых
поршневыми
кольцами на *зеркало*
цилиндра;

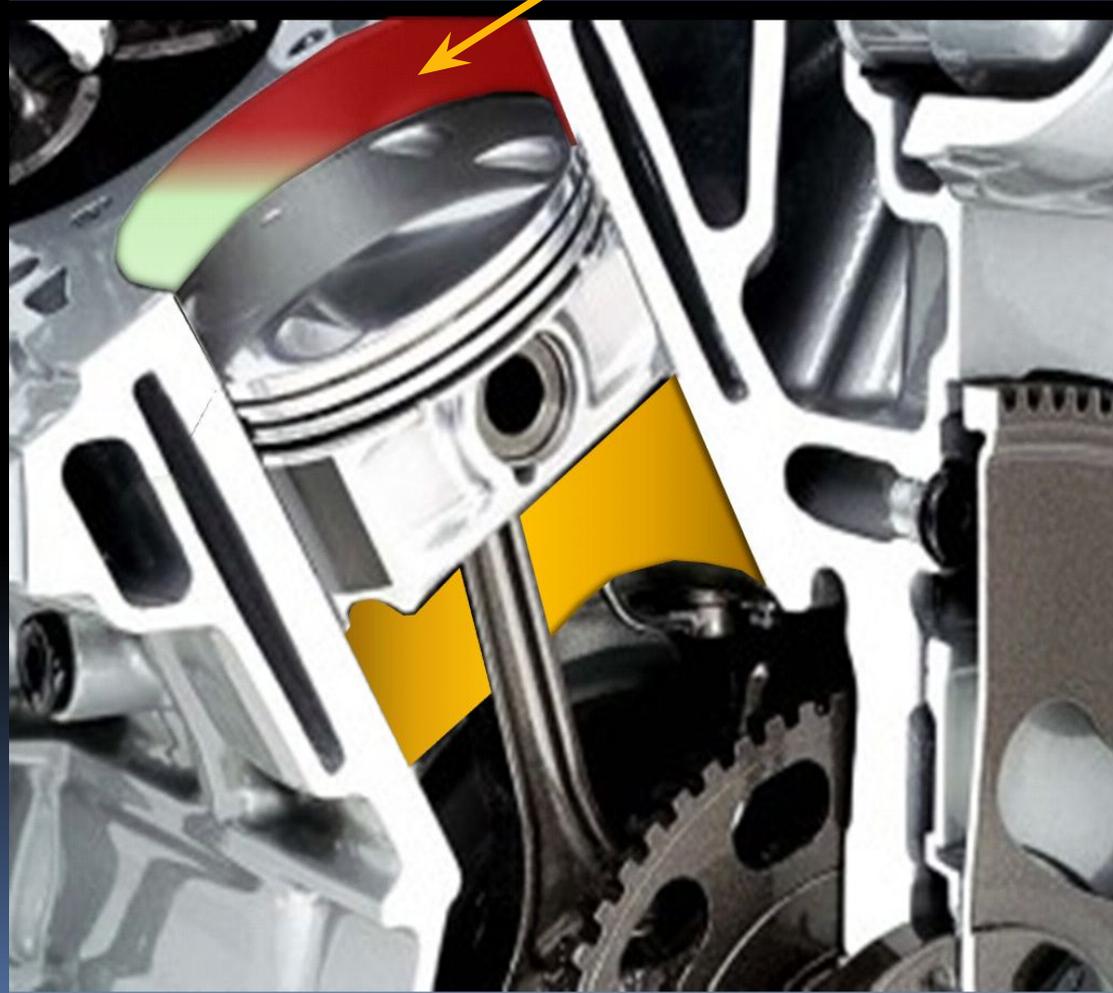
- усиленным
нагарообразованием



Повышенной

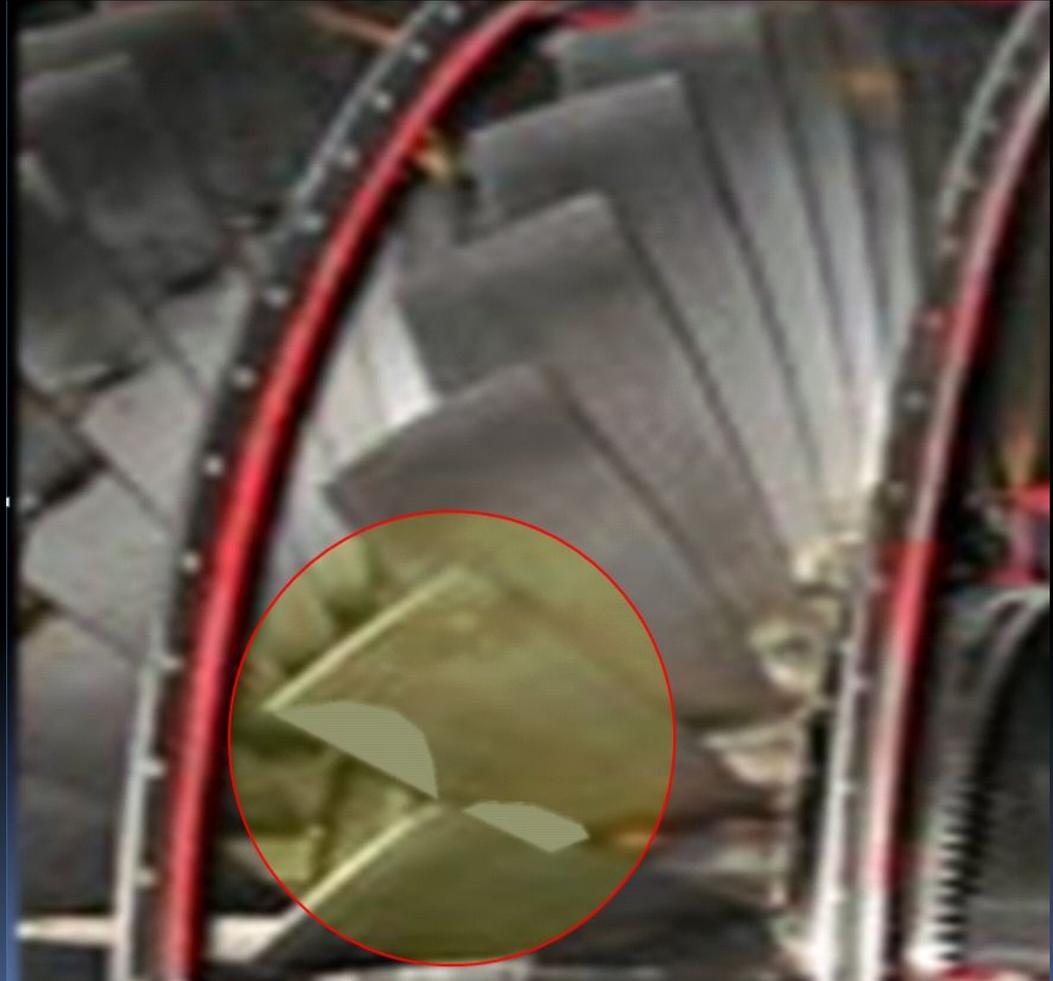
температурой
ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРА.

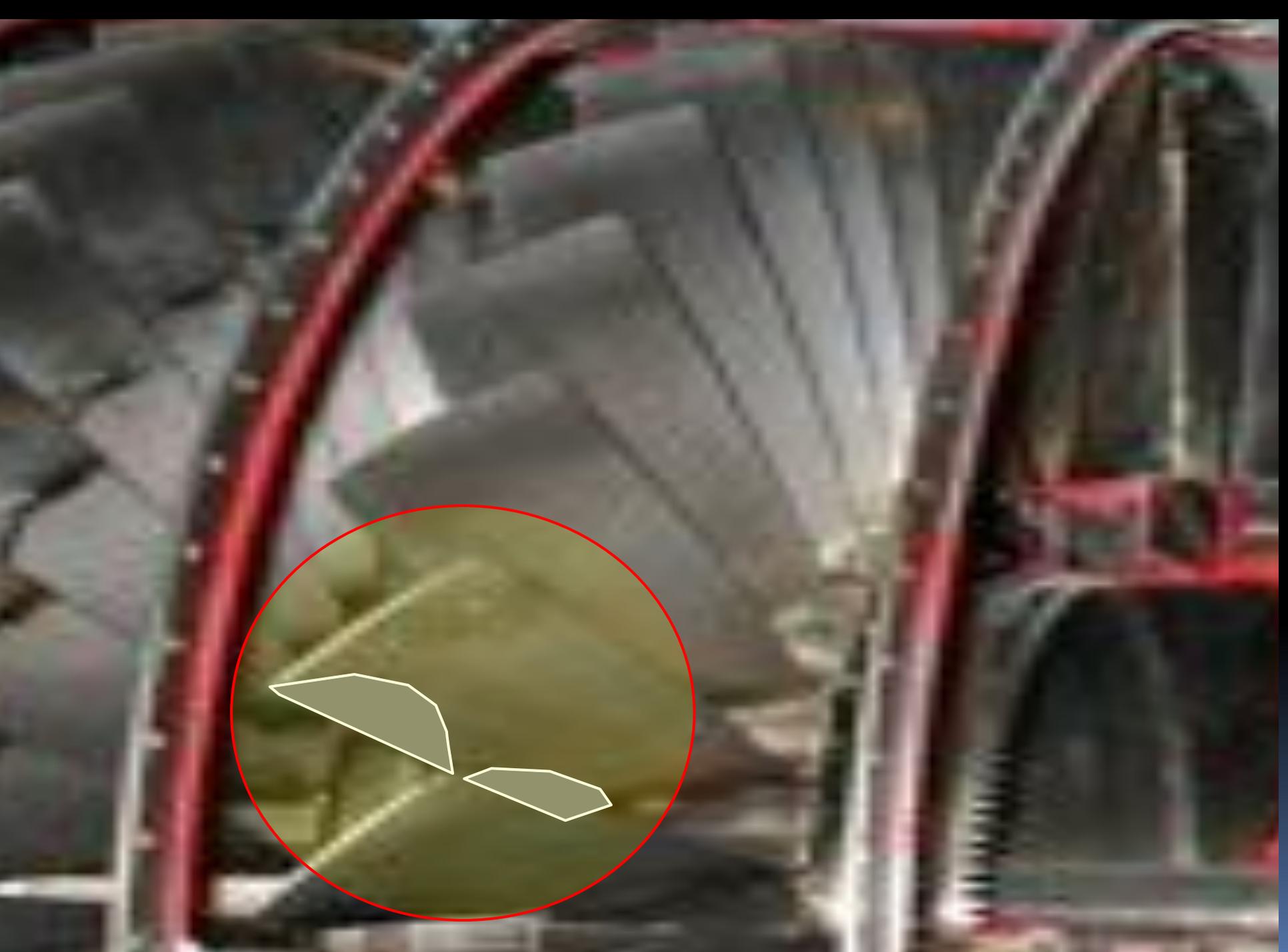
- Падение *коэффициента вязкости* масла вследствие *нагрева* сопровождается увеличением *коэффициентов трения* и *скорости изнашивания*

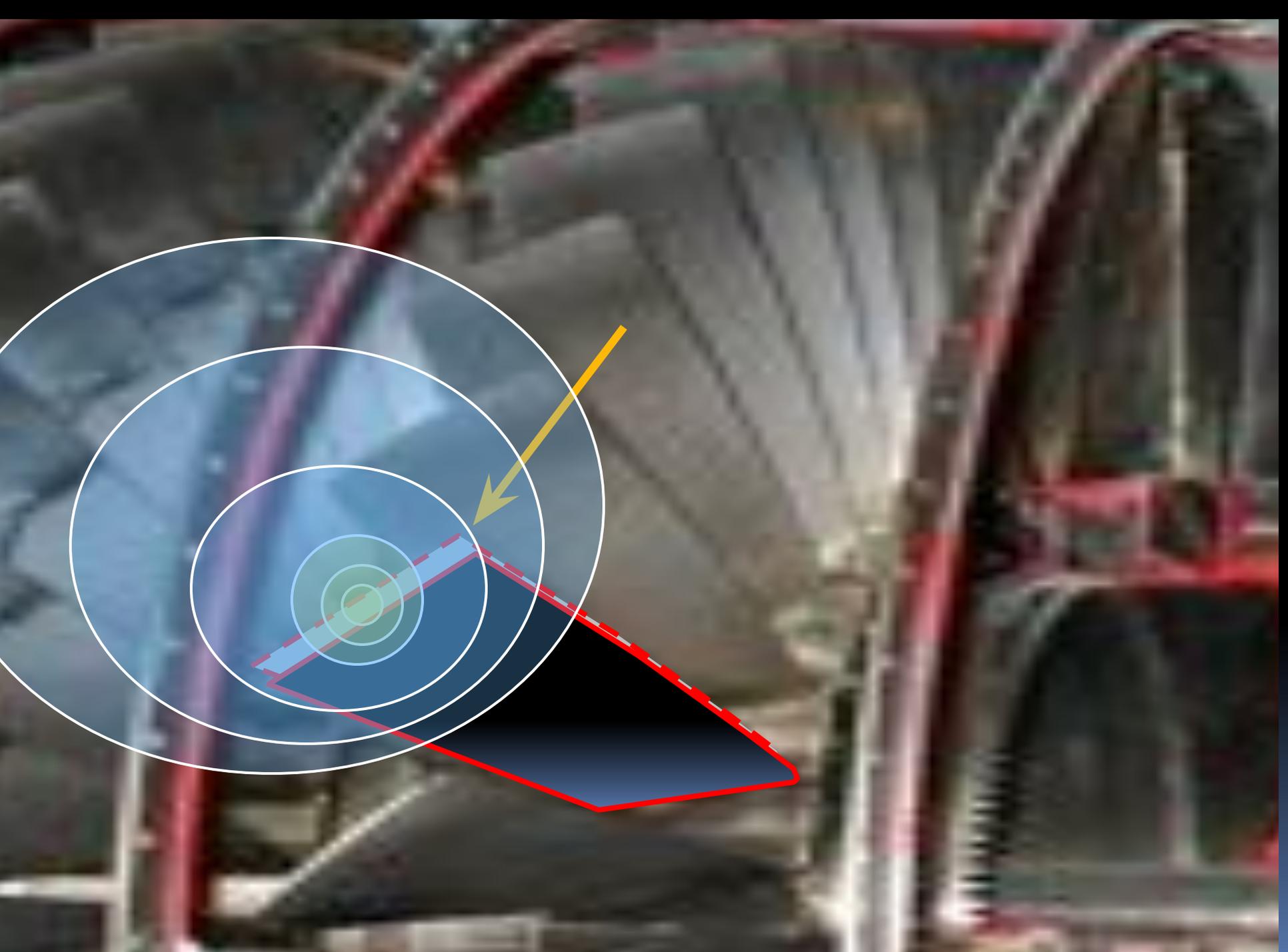


В зависимости

от особенностей
конструкции
компрессора, зон
изнашивания
лопаток
располагаются в
разных местах ее
поверхности







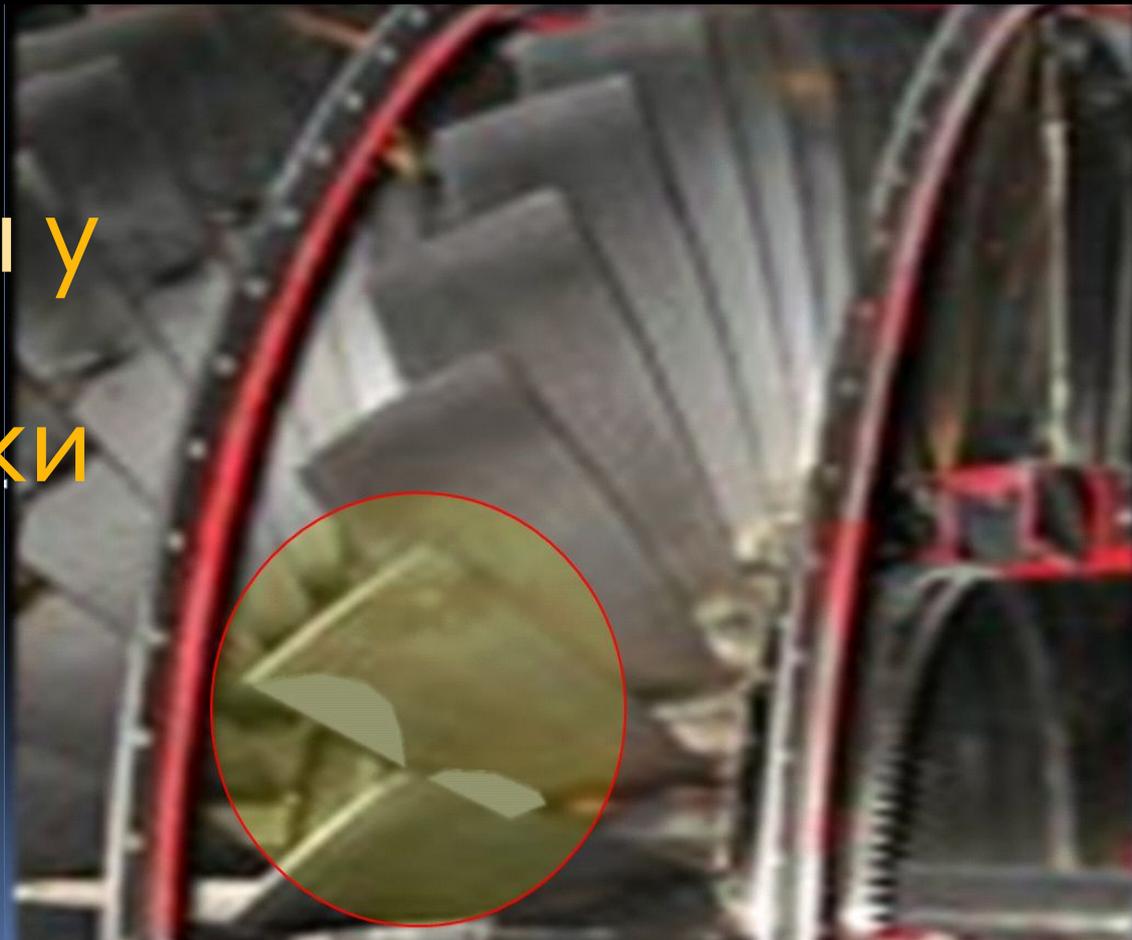
Наиболее часто

ЭТИ ЗОНЫ

расположены у

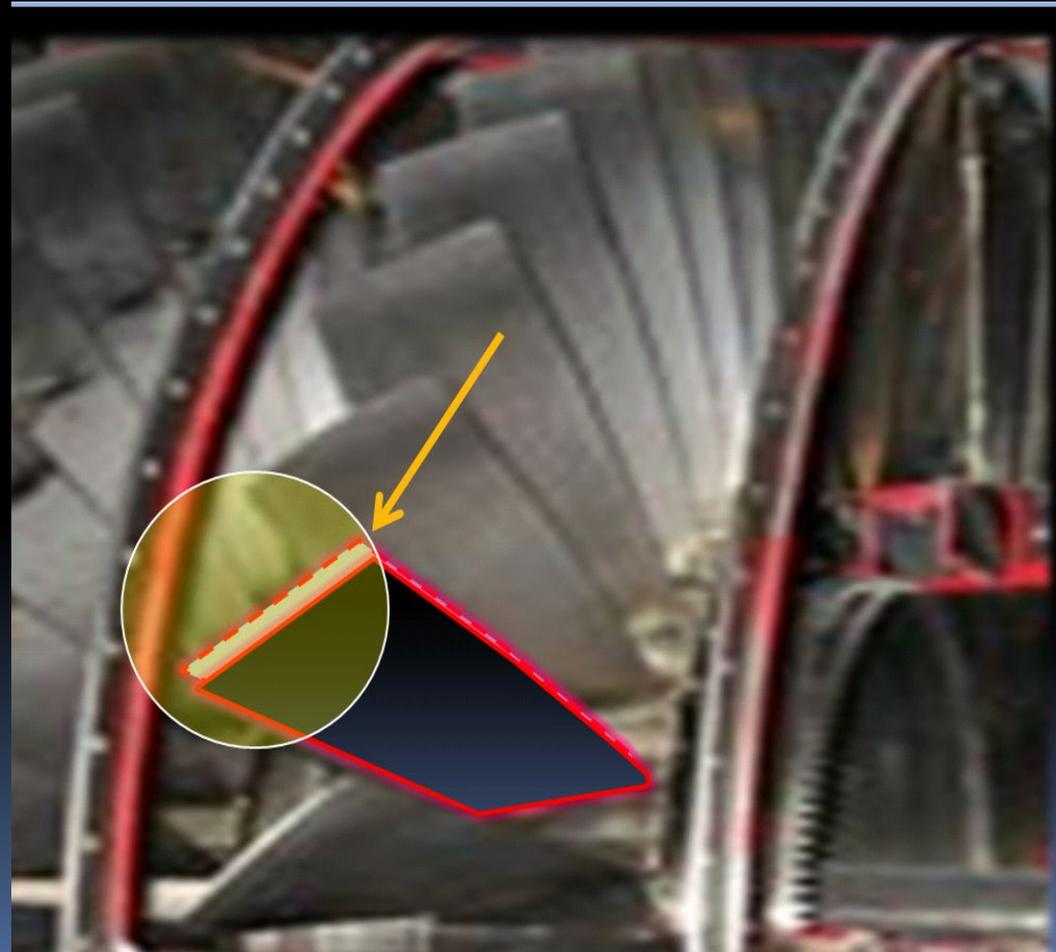
задней кромки

лопатки.



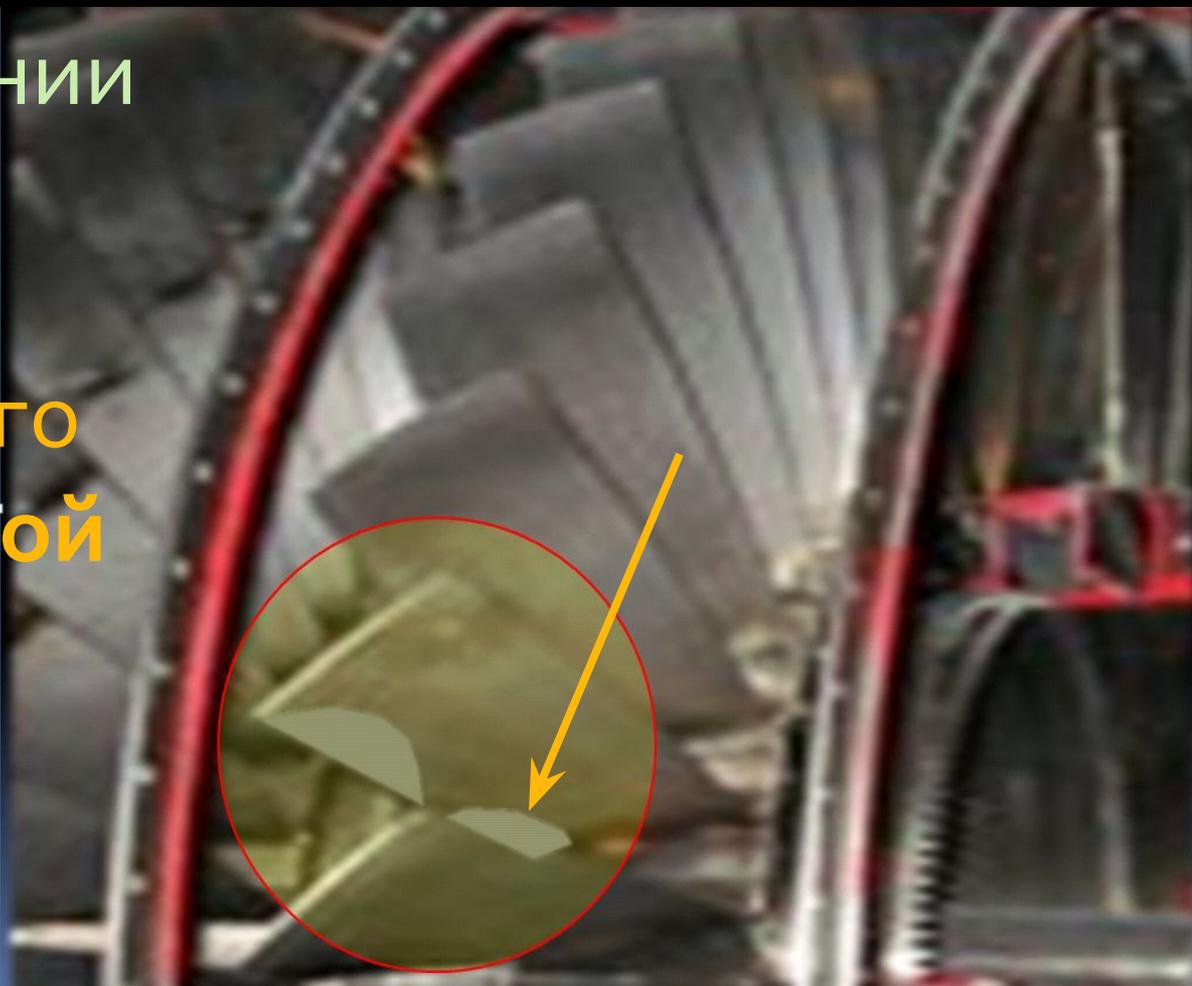
Местное

изнашивание
изменяет
демпфирующие
свойства и
частоту
собственных
колебаний
лопаток.



Особенно опасно

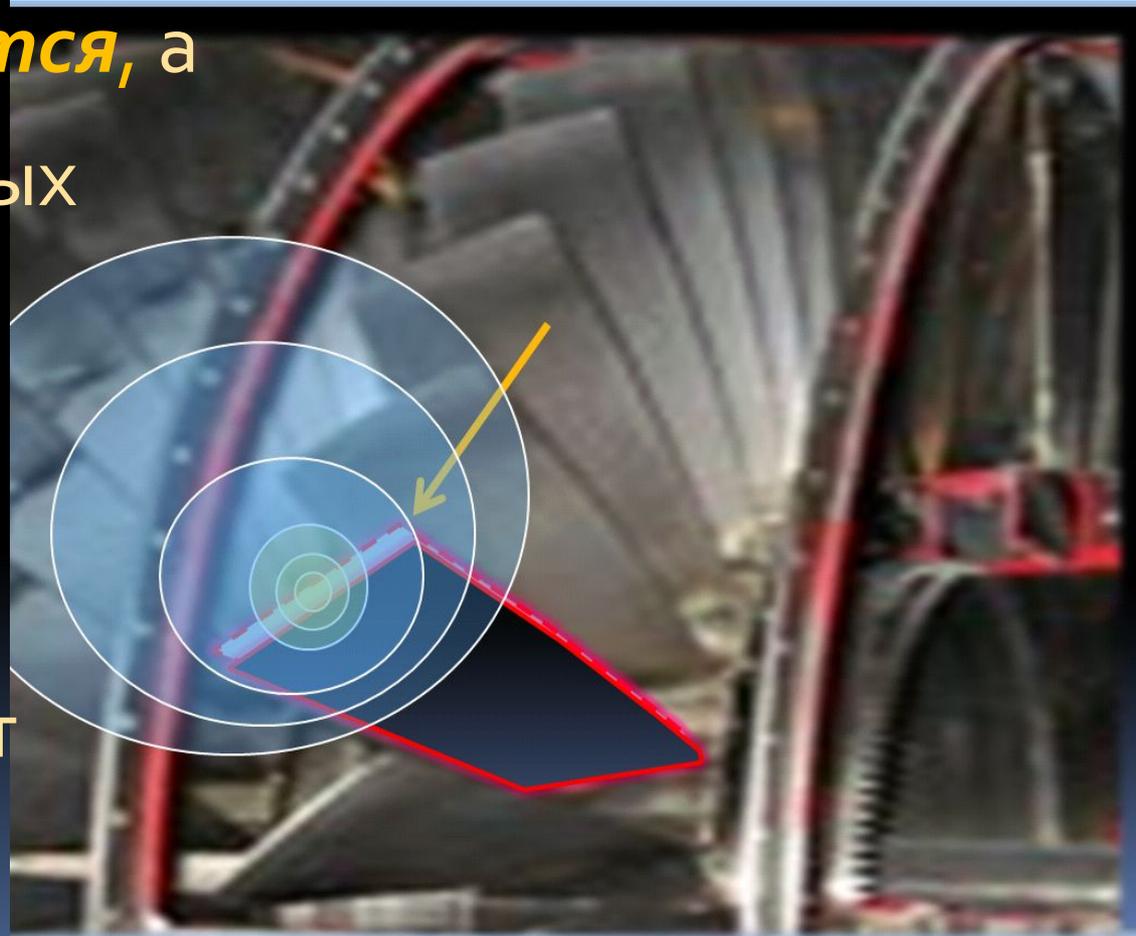
В ЭТОМ ОТНОШЕНИИ
ИЗНАШИВАНИЯ
участка 1,
расположенного
вблизи **корневой**
части у задней
кромки.



Демпфирующие свойства

лопатки *ухудшаются*, а частота собственных колебаний *уменьшается*.

- В *результате* у лопаток возникают *незатухающие* колебания.



Создаются

условия

возникновения

помпажа.

- Уменьшение частоты собственных колебаний может привести к **резонансу** и **разрушению лопаток.**



Вследствие

изнашивания

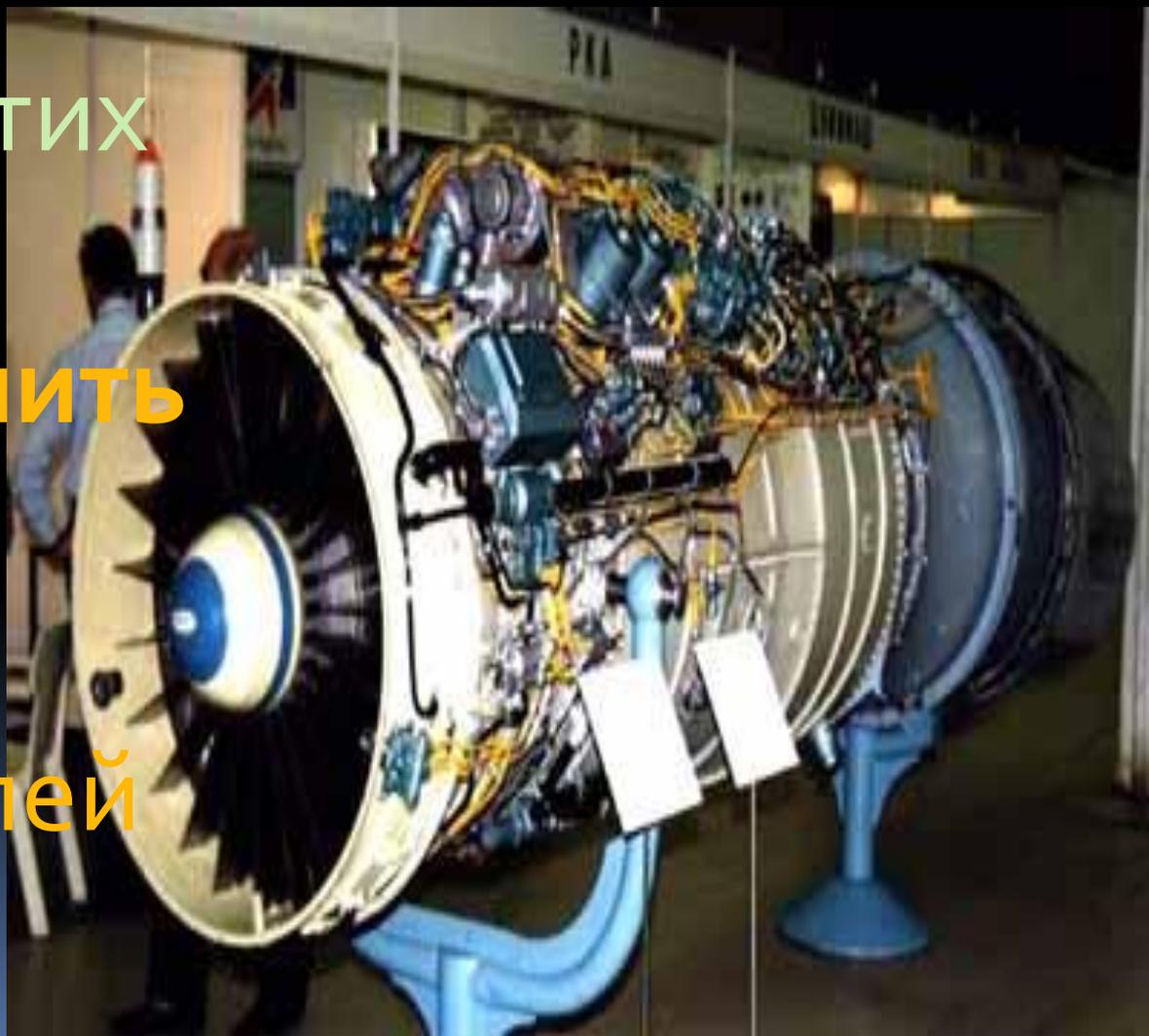
изменяются:

- размеры,
- жесткость,
- *взаимное*
положение
деталей.



Изменение

каждого из этих
параметров
может нарушить
условия
нормальной
работы деталей



В процессе

изнашивания

изменяются

линейные и угловые
положения деталей

и кинематика

механизмов.



Закон движения

замыкающих

звеньев

механизмов

нарушается.



Износ рычагов

различных механизмов изменяет передаточные числа.

- Это вызывает *изменение* выходных параметров регулировочных агрегатов и функциональные *показатели* изделия в целом.

Для предупреждения

таких отклонений
требуются частые
регулировки
указанных
агрегатов и
ремонты с заменой
износившихся
деталей.



Это увеличивает

простои
летательных
аппаратов, т.е.
ухудшают их
эффективность.



Износ

отдельных звеньев механизмов или деталей агрегатов **может привести к резкому изменению характера и величины нагрузки на отдельных участках деталей, в результате чего возникают новые виды изнашивания.**

Увеличиваются

ударные и
вибрационные
нагрузки,
нарушаются
условия работы
деталей, **связанных**
с изнашиваемыми
жестко или *через*
рабочую среду



Износ

ПОДВИЖНЫХ
соединений шасси
приводит к
возрастанию
динамических
нагрузок и к
усталостному
разрушению
деталей.



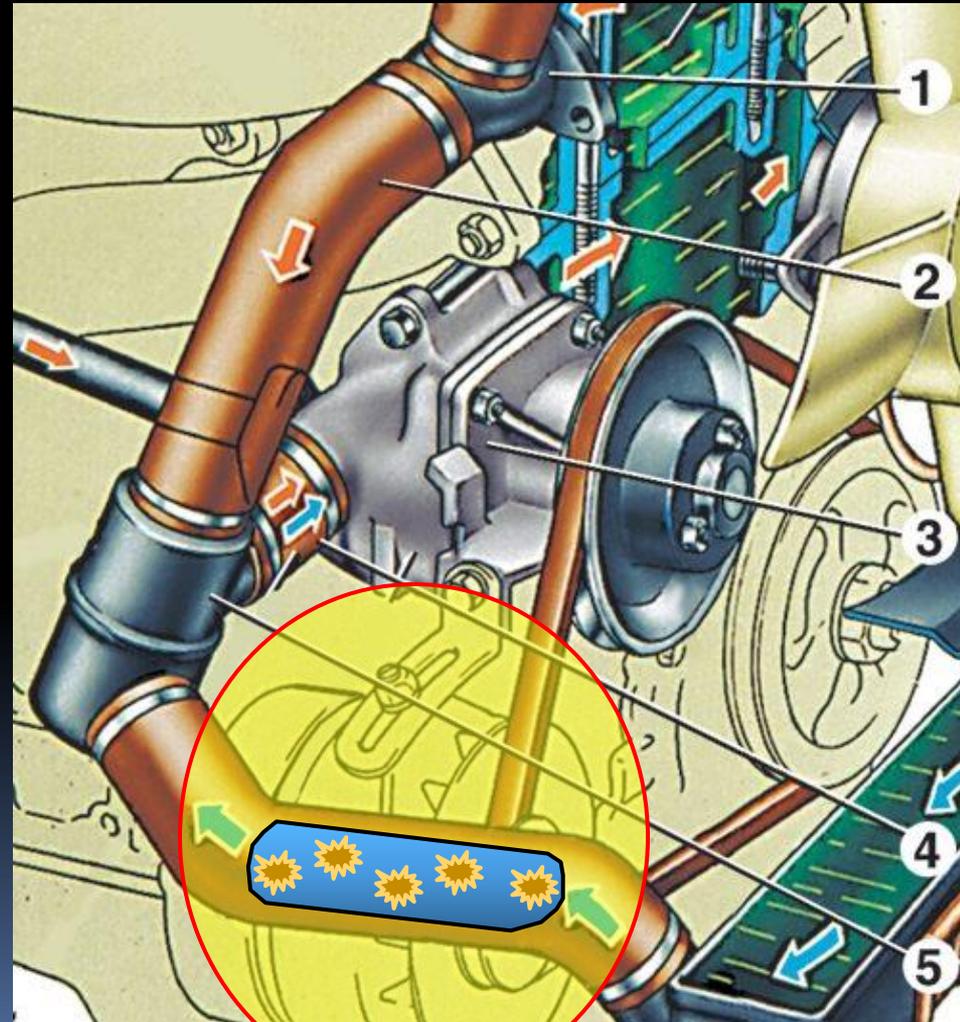
Трещины

усталостного
характера
зарождаются на
амортизационных
стойках в местах
концентрации
напряжений.



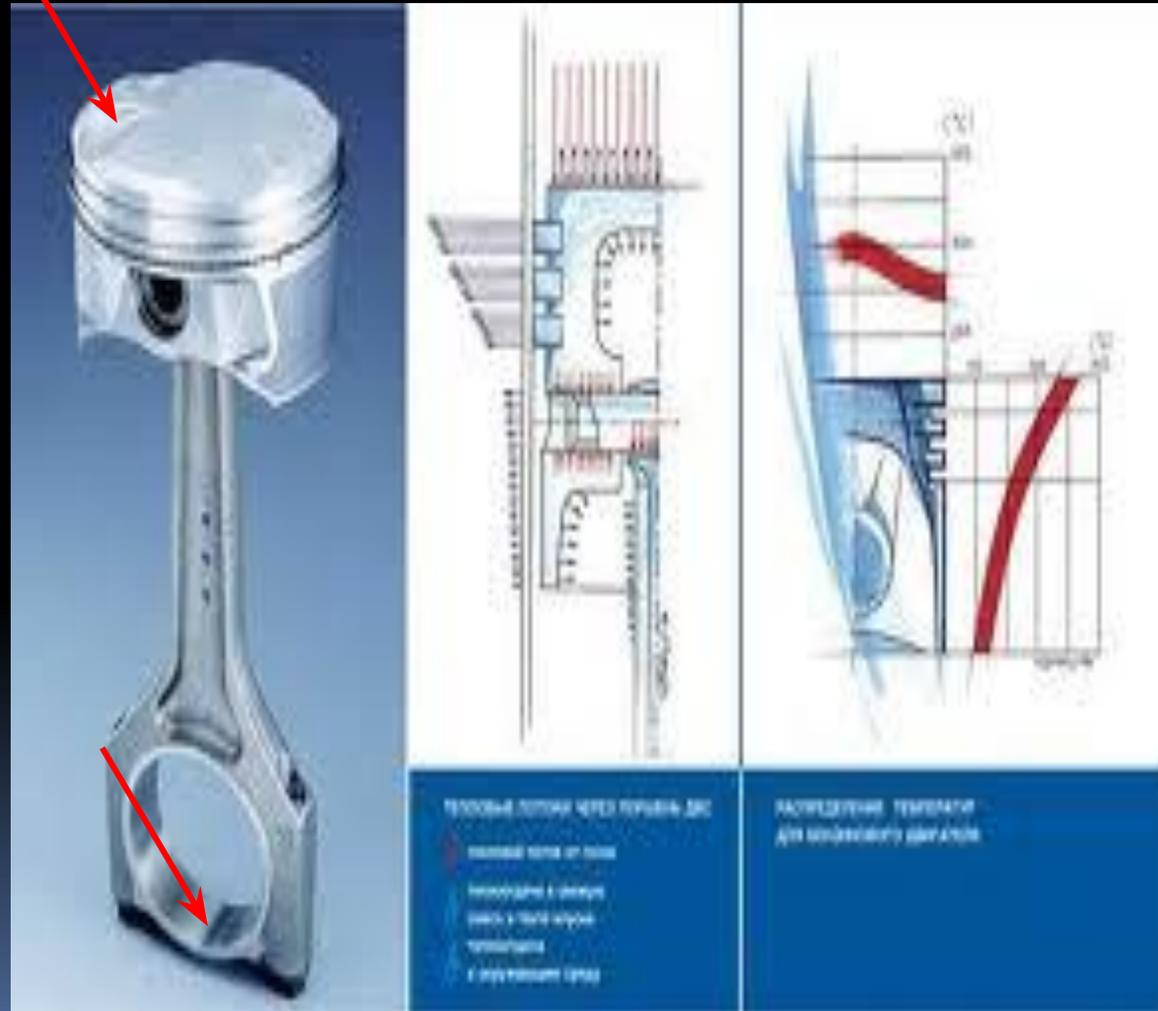
При переносе

продуктов износа и коррозии рабочей жидкостью **создаются условия для абразивного и коррозионно-механического видов изнашивания** элементов систем, расположенных по потоку рабочей жидкости.



В результате

начинается
общее
ускоренное
изнашивание
всех деталей
системы.

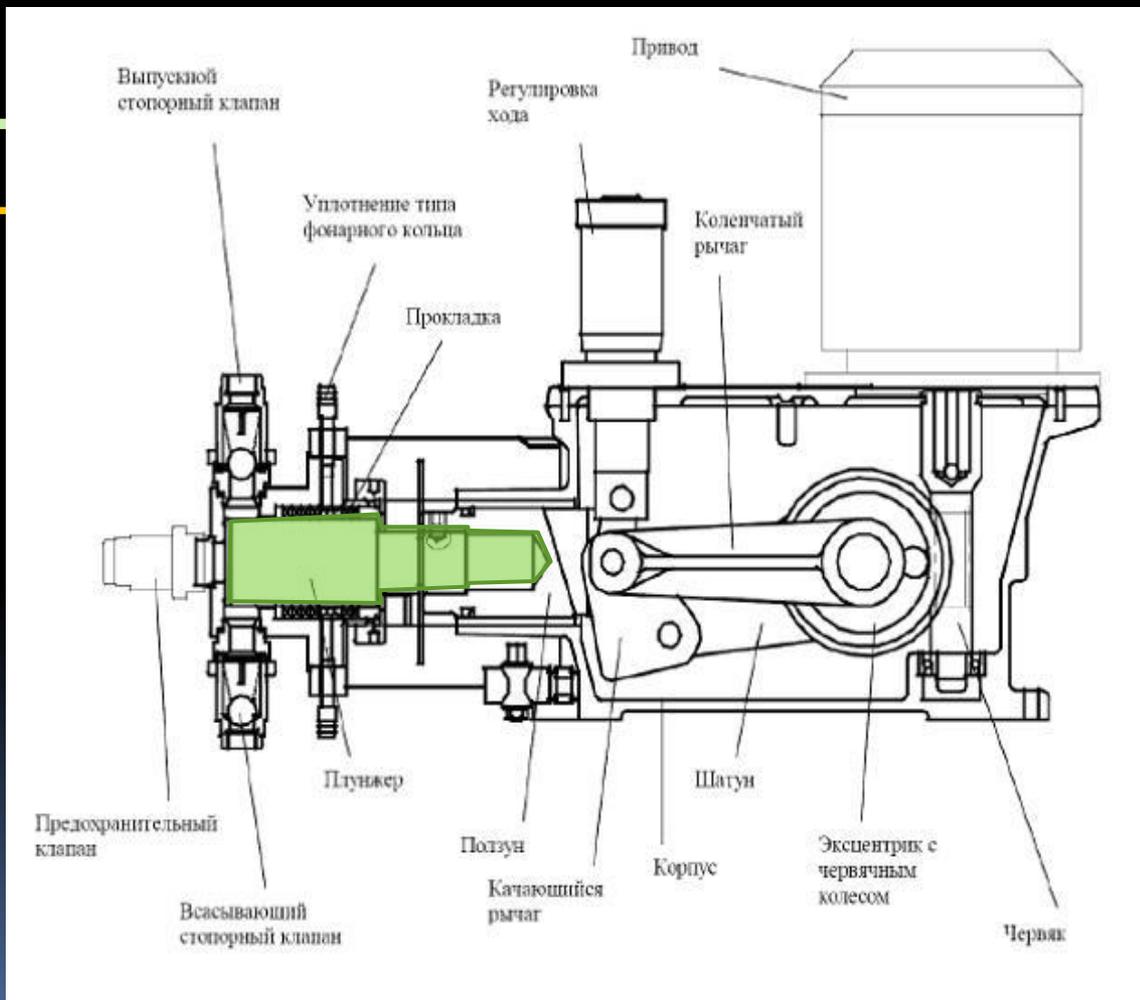


Особенно опасно

наличие в рабочей жидкости
твердых частиц для *золотниковых и
плунжерных* пар,
распределительных и
регулирующих устройств
масляных, гидравлических и
ТОПЛИВНЫХ систем.

Попадание

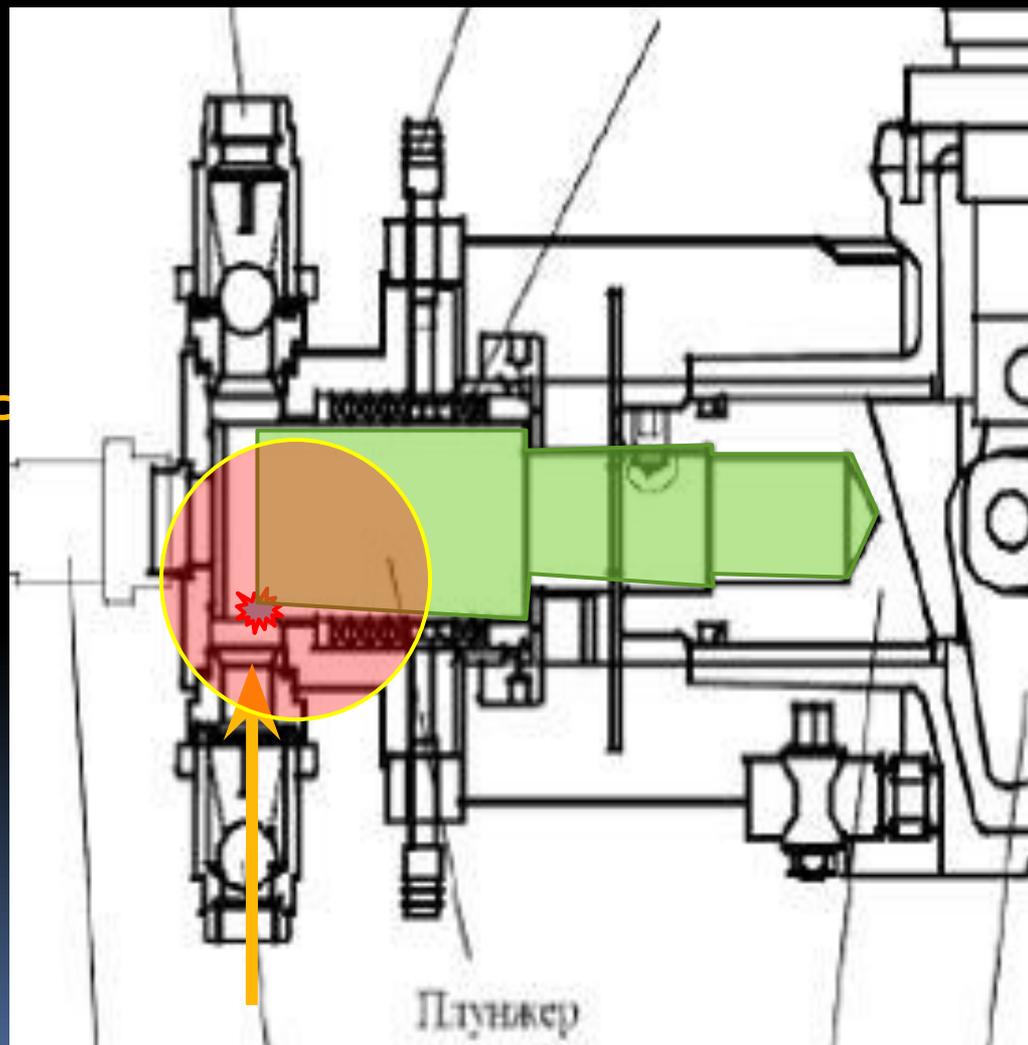
твердых частиц
зазор вызывает
увеличение
трения между
золотником и
гильзой.



Чувствительность

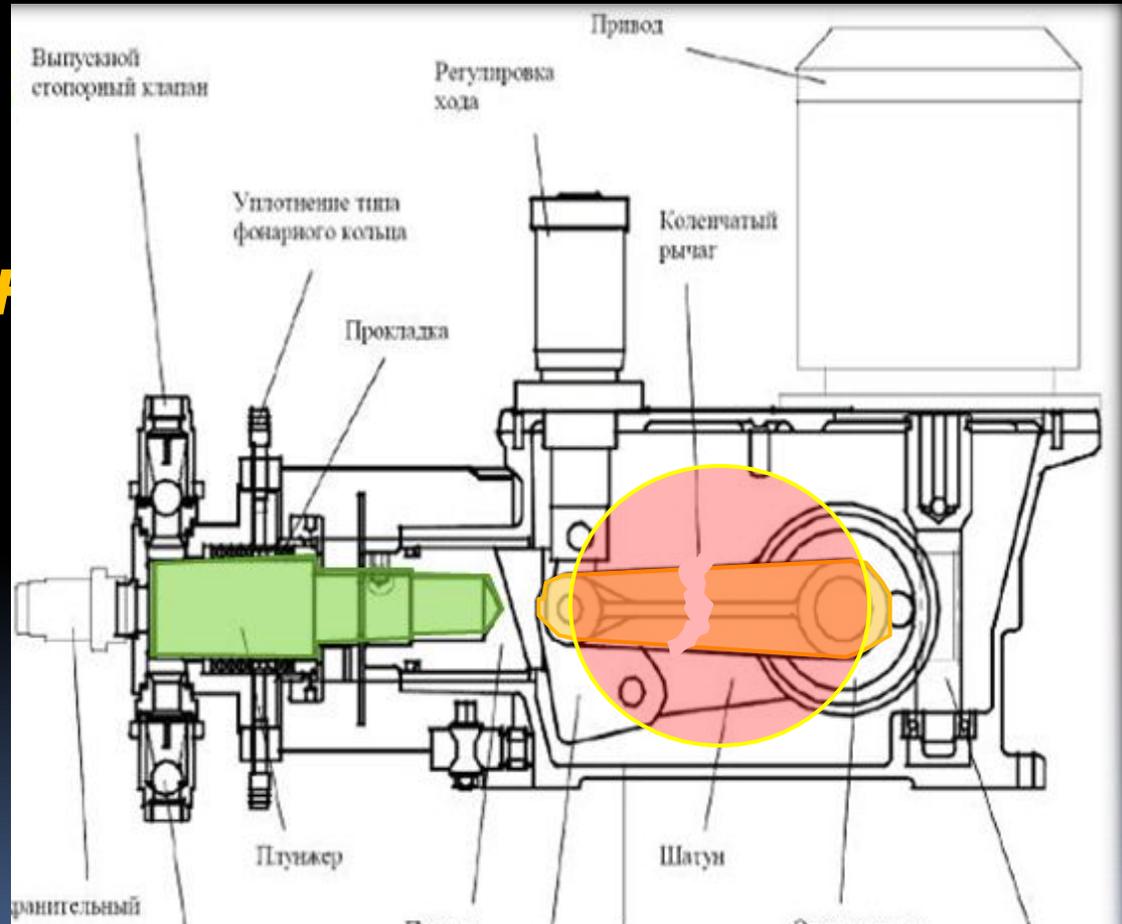
регулирующего устройства
устройства
снижается, а
выходные параметры
отклоняются от
установленной
нормы.

- Возможно **заедание**
заклинивание
золотников.



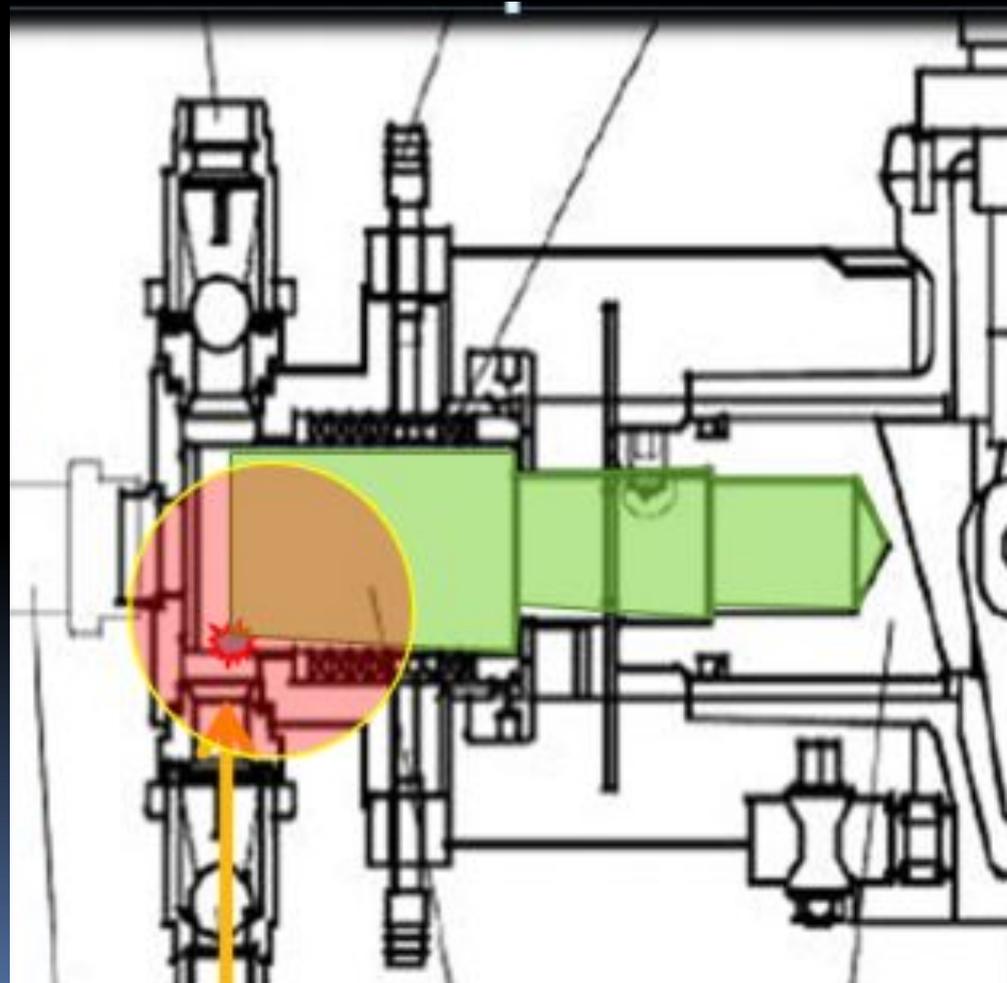
В процессе

эксплуатации
зафиксированы
случаи *разрушения*
приводов
ТОПЛИВНЫХ
насосов.



Причиной разрушения

явилось **заклинивание** плунжера, вызванное повреждением поверхности вследствие попадания посторонних частиц и последующего **схватывания** материалов плунжера и гнезда.



Таким образом,

изнашивание
авиационных
деталей является
одной из причин
снижения
работоспособности
систем ЛА и АД.



Для предупреждения

возникновения *аварийных* ситуаций на каждом ЛА **необходимо** периодически выполнять **регулирующие и ремонтные** работы с целью устранения повреждений, вызванных изнашиванием, или их **предупреждения.**



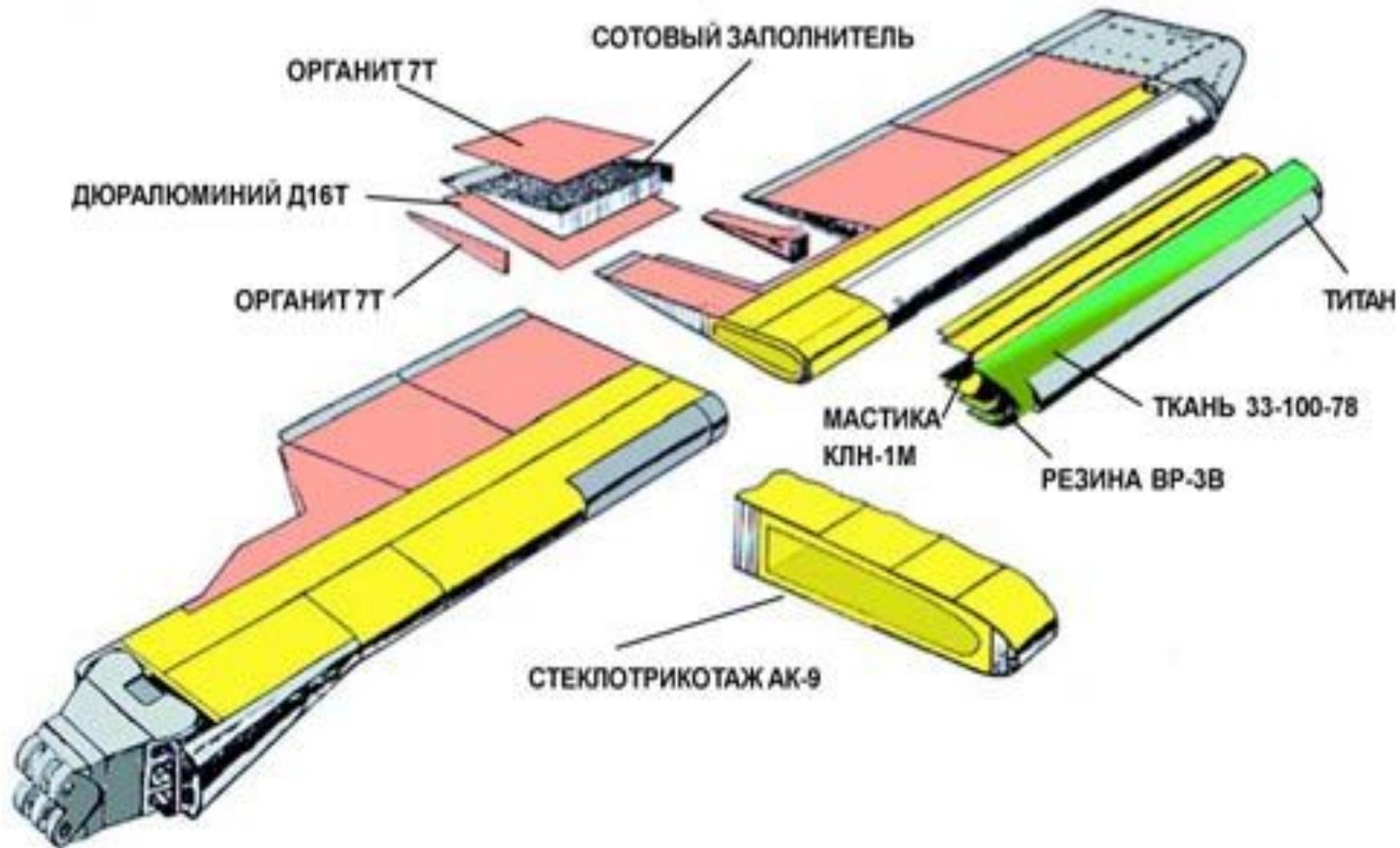
2.5

**ИЗНАШИВАНИЕ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.**

В конструкциях ЛА

применяется большое количество **неметаллических** материалов: резины, органическое стекло, пластмассы, фрикционные материалы, ткани, лакокрасочные покрытия, декоративные материалы, древесина.

Пример применения неметаллических материалов



Основой

многих
неметаллических
материалов
являются
естественные и
искусственные
полимерные
вещества (каучуки,
смолы и др.)



Старение полимеров

Оно представляет собой такое необратимое изменение свойств, которое происходит под действием **тепла, кислорода, солнечного света, ионизирующих излучений, озона, механических напряжений** и др.

В процессе старения

происходят
химические
превращения
макромолекул,
приводящие к их
деструкции.

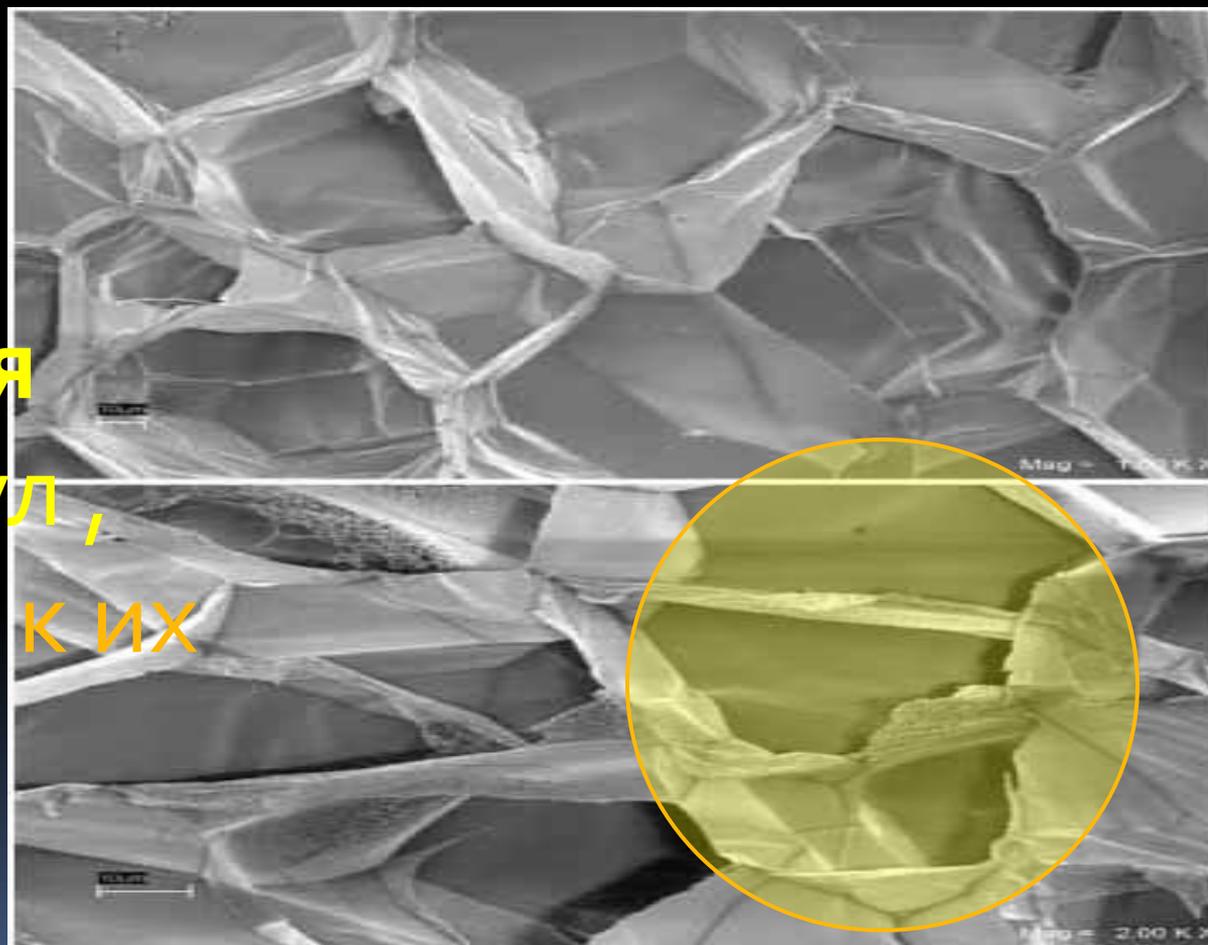


Фото 2.
Структура пенополистирола:
свежего и искусственно состаренного.

Деструкция -

разрушение
макромолекул под
действием **тепла,**
кислорода, влаги,
света, радиации,
механических
напряжений.

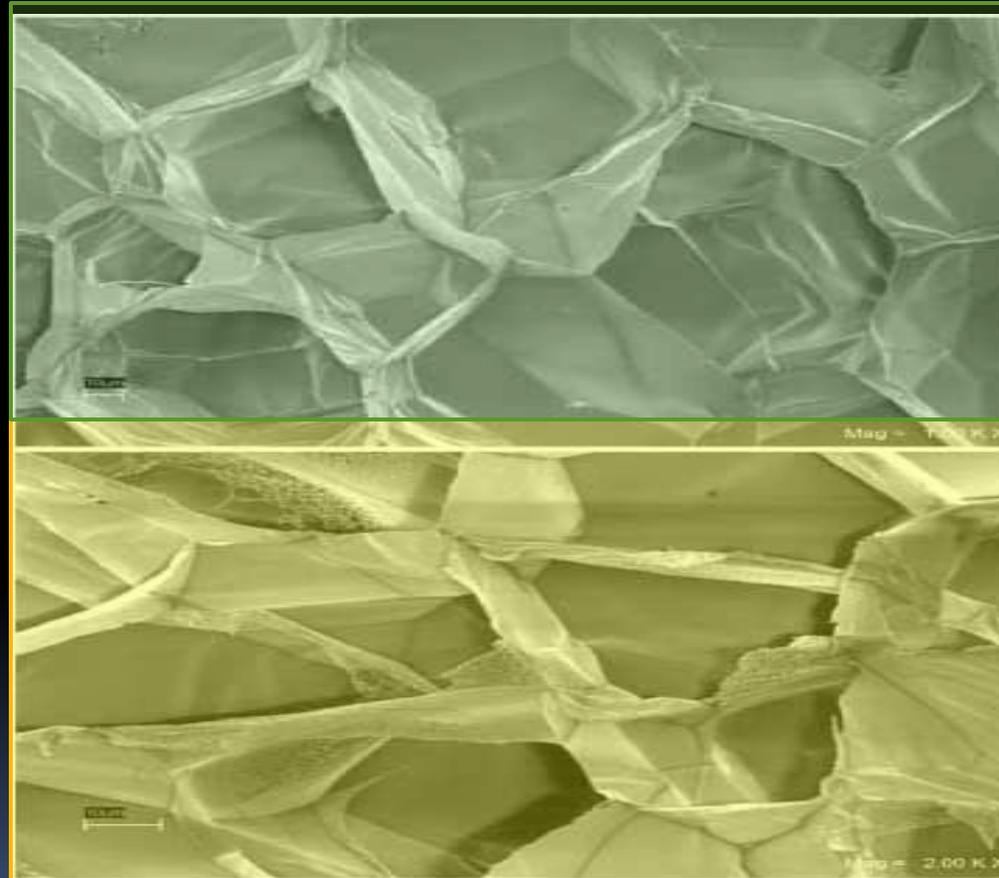


Фото 2.
Структура пенополистирола:
свежего и искусственно состаренного.

В следствия старения

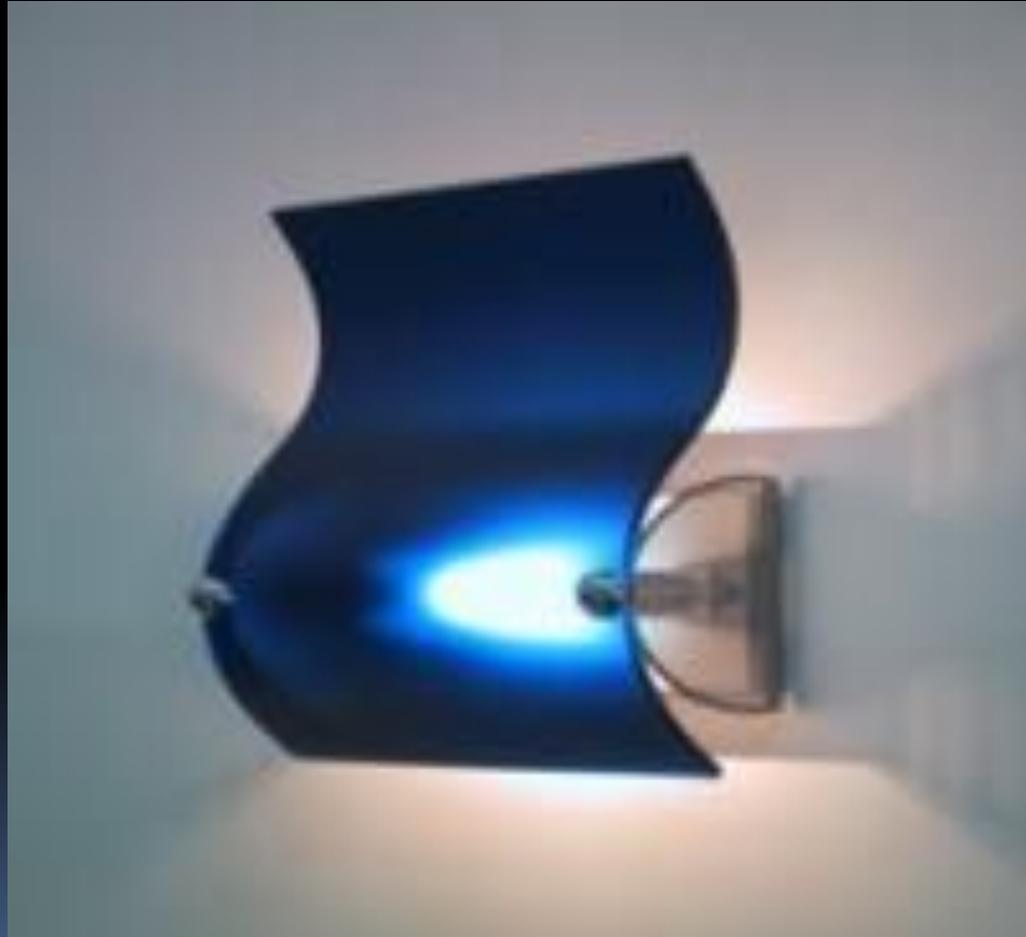
ухудшаются механические характеристики полимеров, появляются трещины на поверхности, разрастающиеся с течением времени.

- Рассмотрим старение полимеров на некоторых примерах.

Органическое стекло

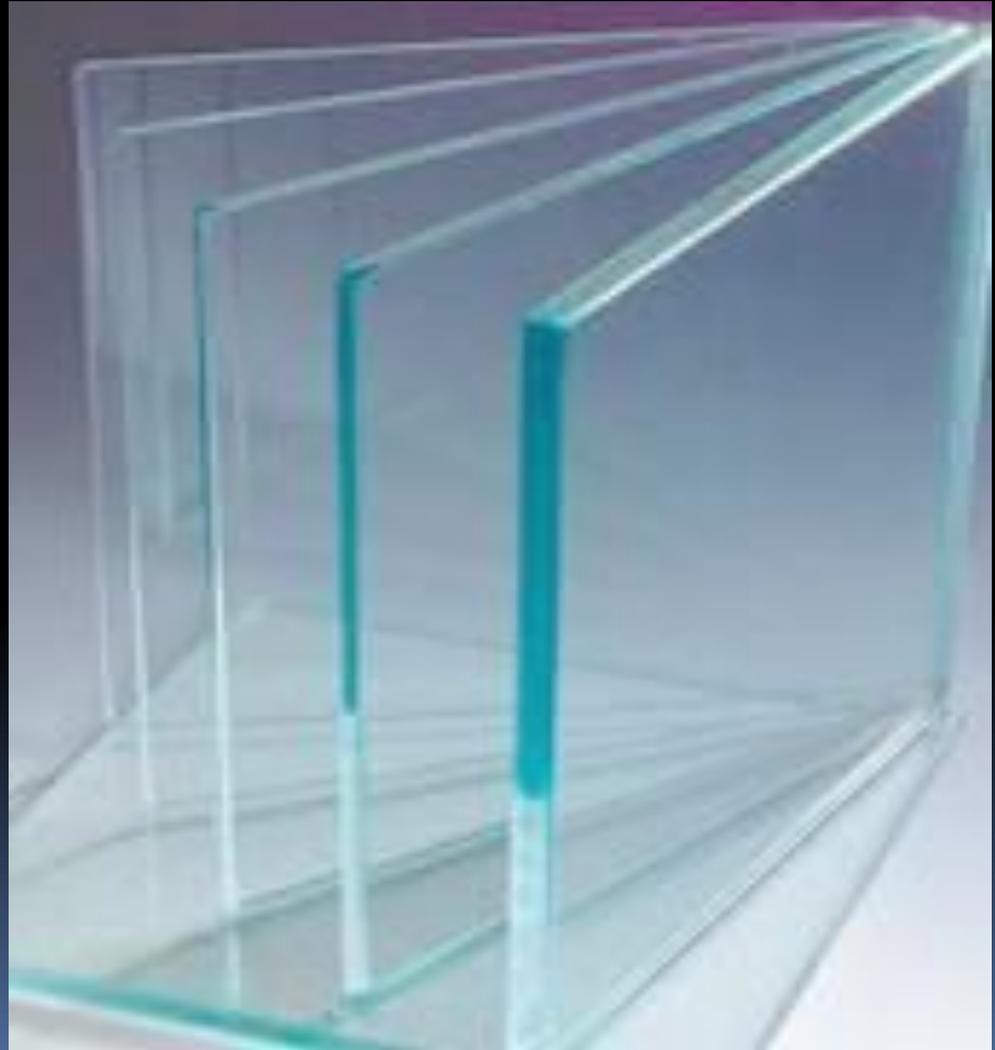
(Полиметилметакрилат)

Обладает **малой** теплопроводностью и **одновременно с ЭТИМ** **значительным** коэффициентом **линейного** **термического** **расширения.**



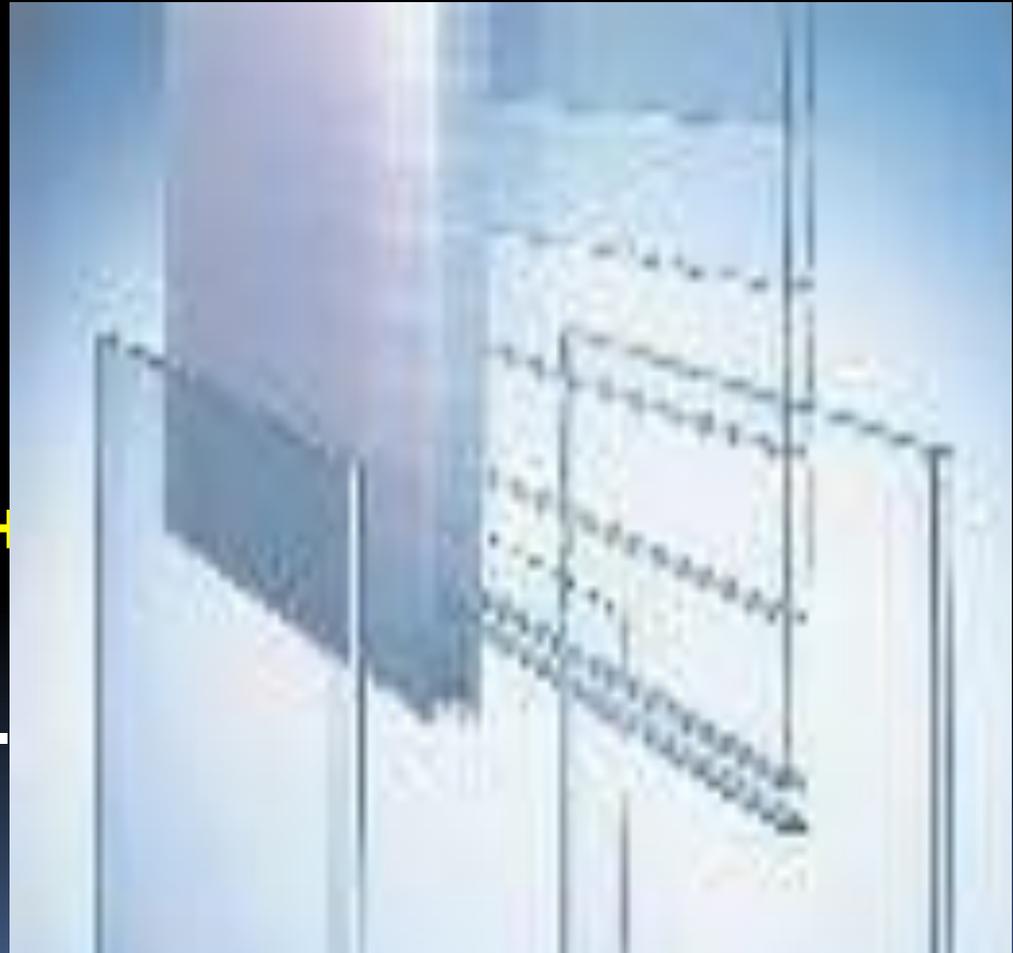
При резкой

смене температур
отдельные слои
вследствие малой
теплопроводности
приобретают
различную
температуру.



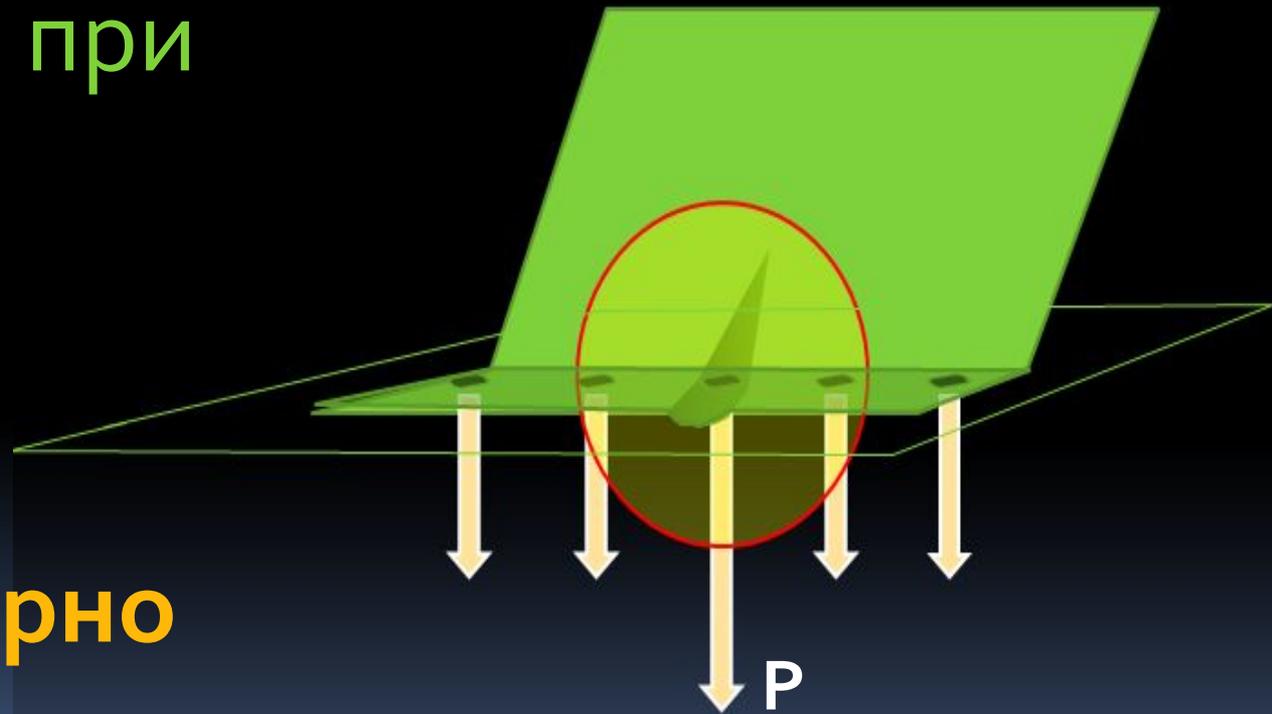
Это вызывает

появление внутренних напряжений в органическом стекле и может привести к образованию мелких поверхностных трещин, которые обычно называют «серебром».



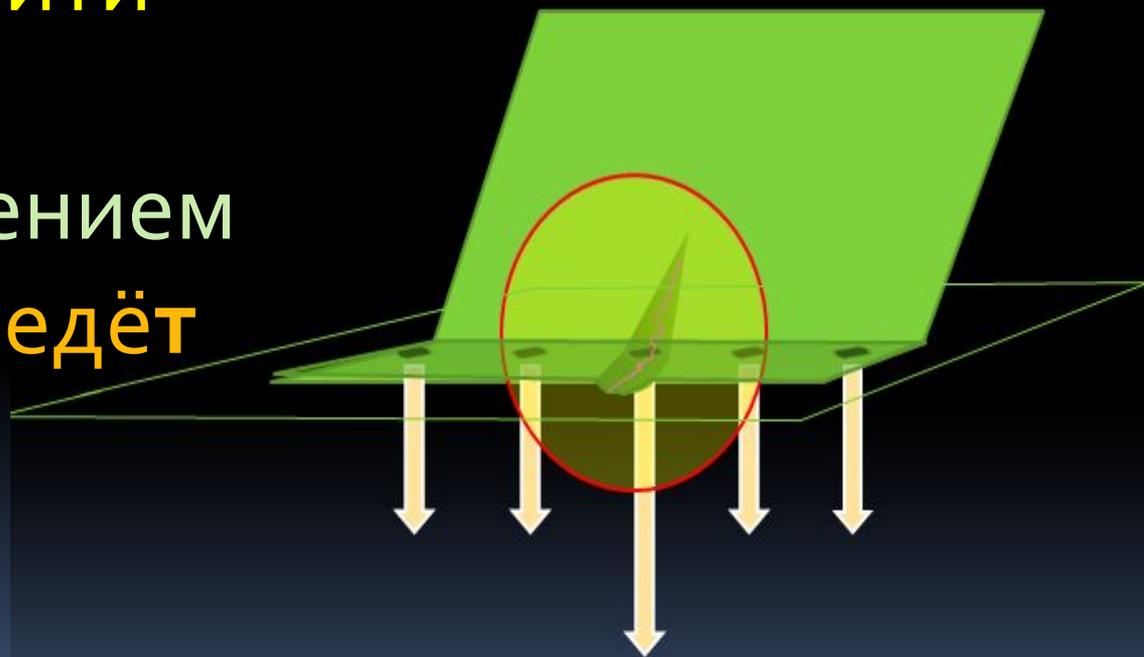
Внутренние напряжения

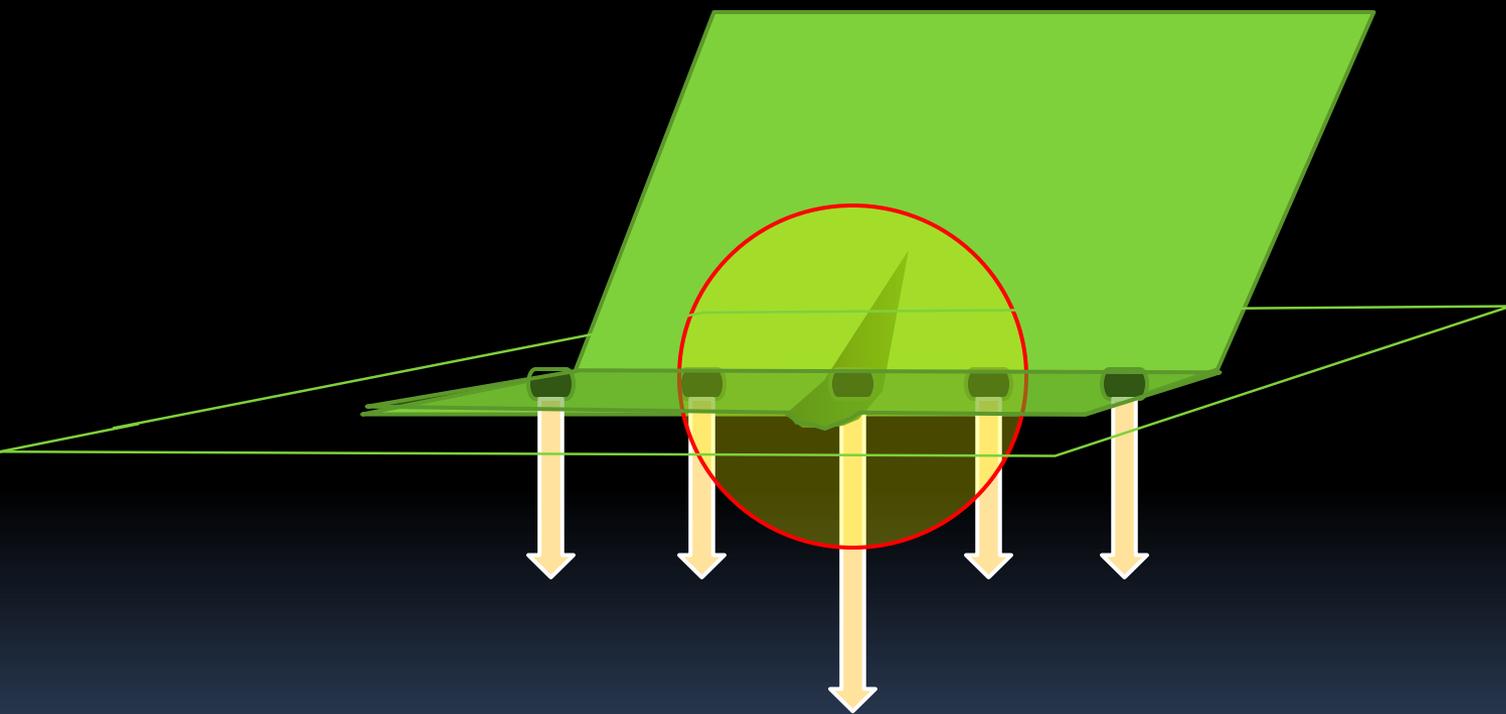
могут
возникнуть при
монтаже
деталей из
оргстекла
вследствие
неравномерно
й затяжки.



Под воздействием

этих напряжений
может произойти
деструкция,
которая с течением
времени приведёт
к появлению
трещин.





Деструкция

макромолекул некоторых каучуков в среде воздуха происходит вследствие **окисления**, что также с течением времени приводит к появлению **поверхностных трещин**.

- Во многих гидрогазовых системах воздух заменяют **азотом**, поскольку **основные уплотнения изготавливаются из резин**

Старение резин

может происходить от действия солнечного света, вызывающего ухудшение её физико-механических свойств.

- Вследствие этого хранение изделий из резины на открытом воздухе, с доступом солнечного света приводит к преждевременному выходу их из строя.

Старение полимеров.

Поскольку полимеры входят в состав многих авиационных материалов и особенно лакокрасочных покрытий – то их старение имеет такую же природу .

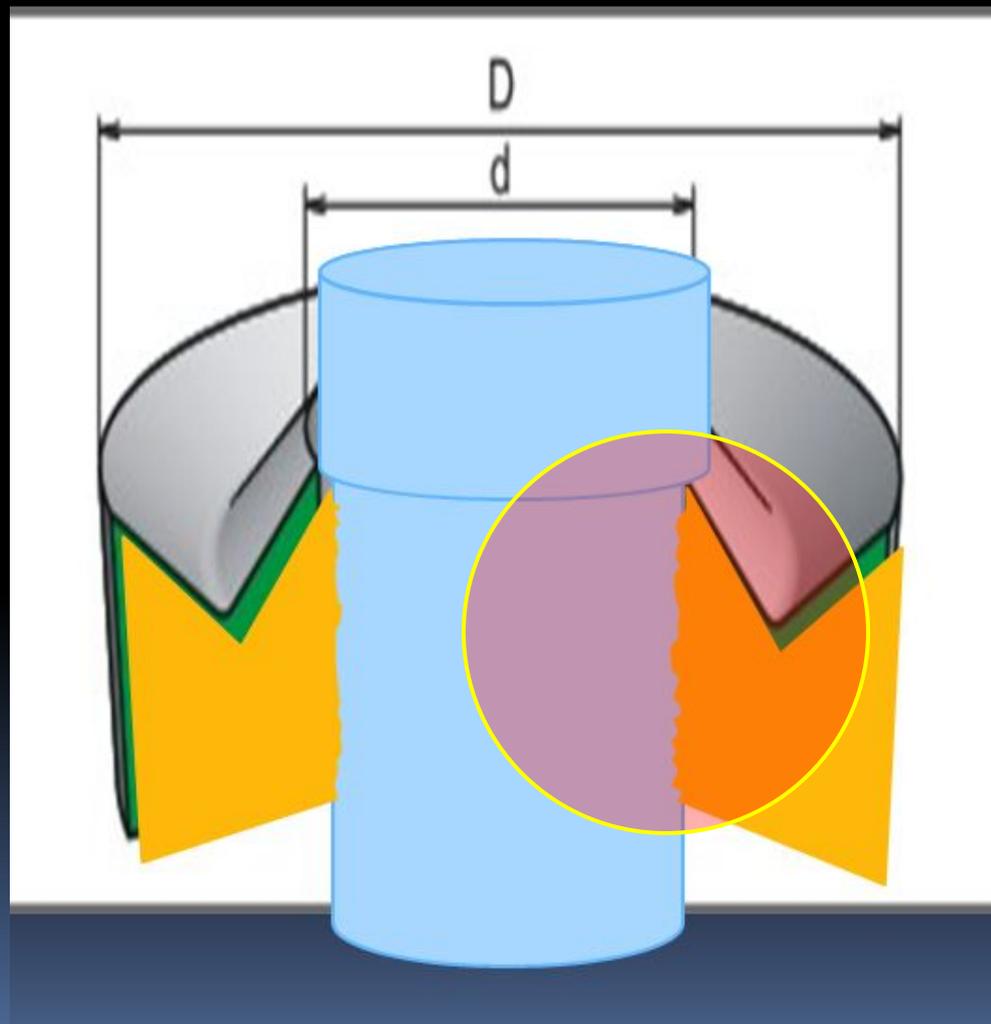
Изнашивание резин и неметаллических материалов

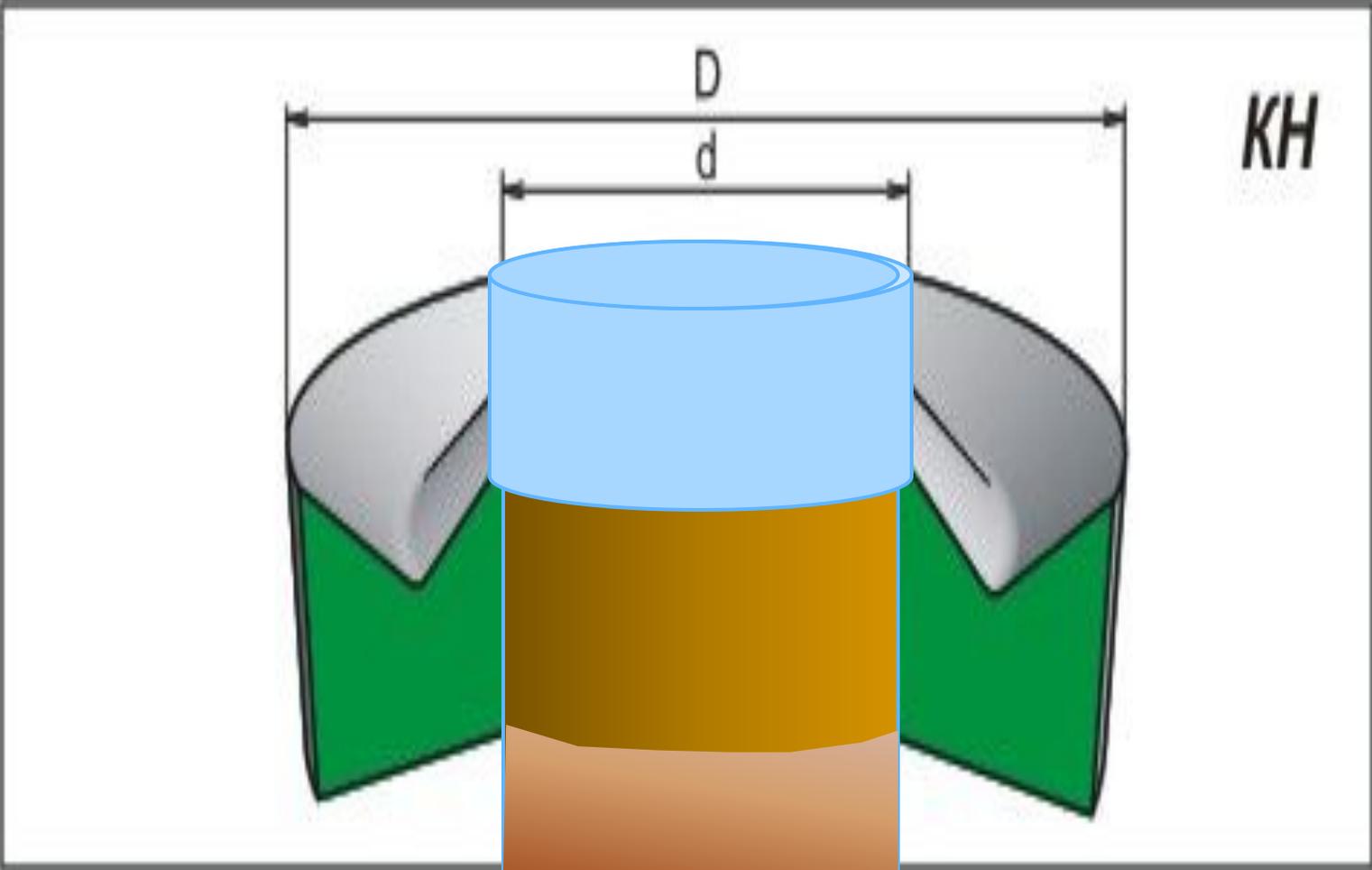
Резина широко применяется в **подвижных и неподвижных** соединениях различных систем в качестве **уплотнителей** (манжеты, кольца, прокладки и т.п.) и мембран.



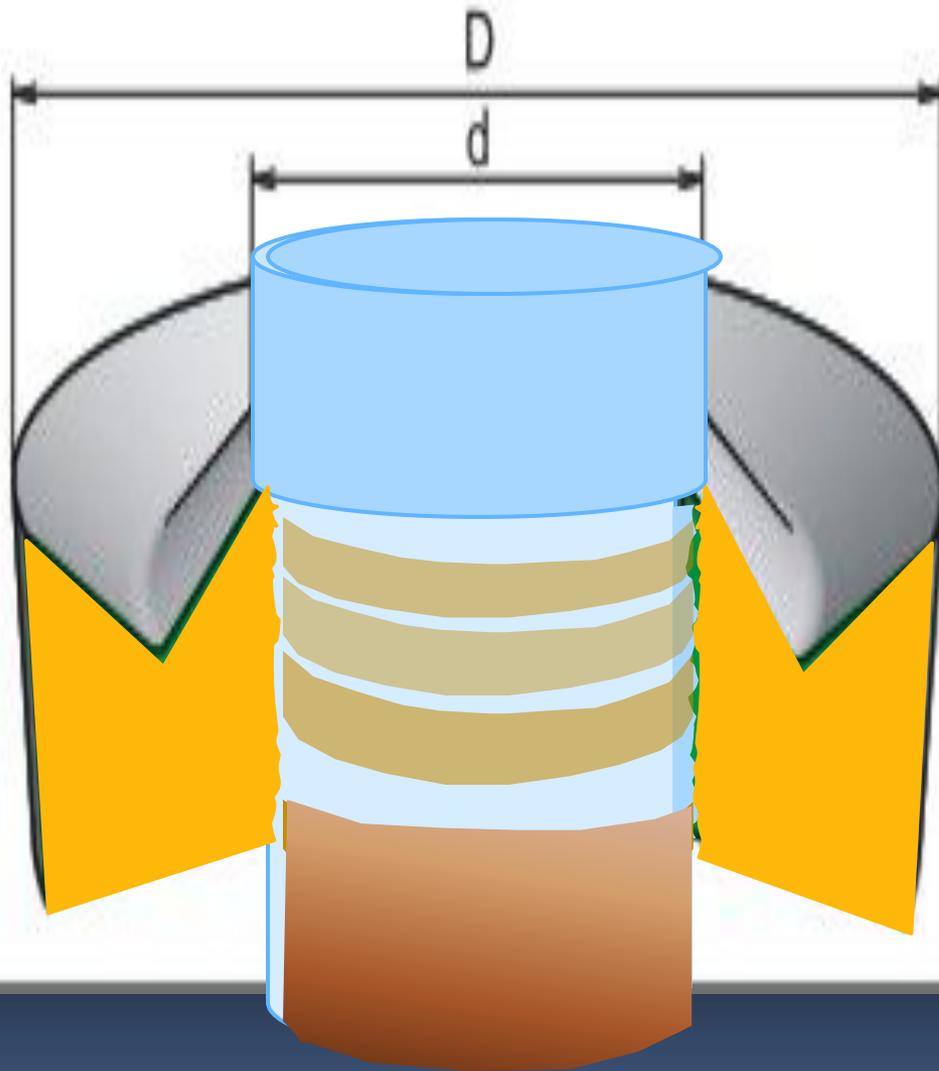
В подвижных

соединениях
резиновые детали
изнашиваются
вследствие
контактирования
с металлическими
поверхностями



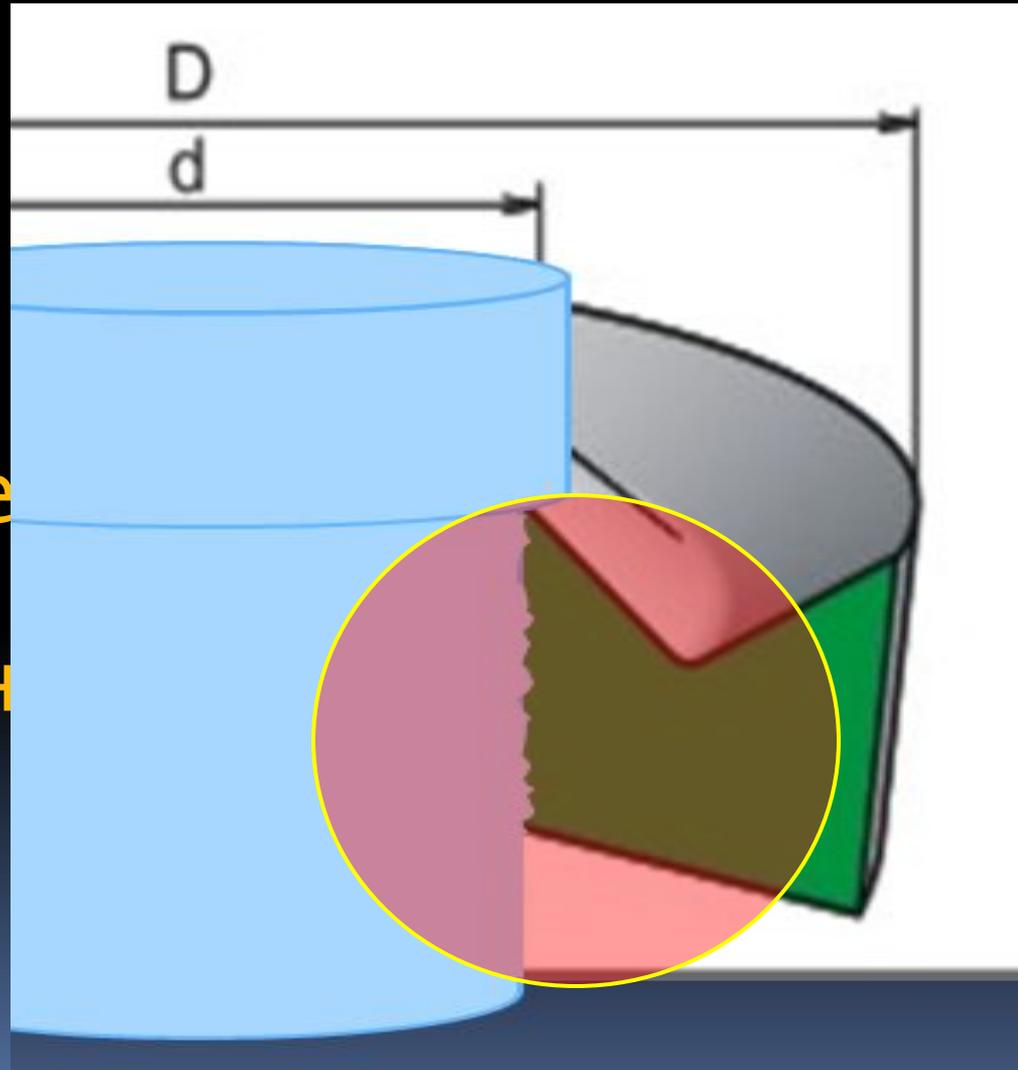


KH



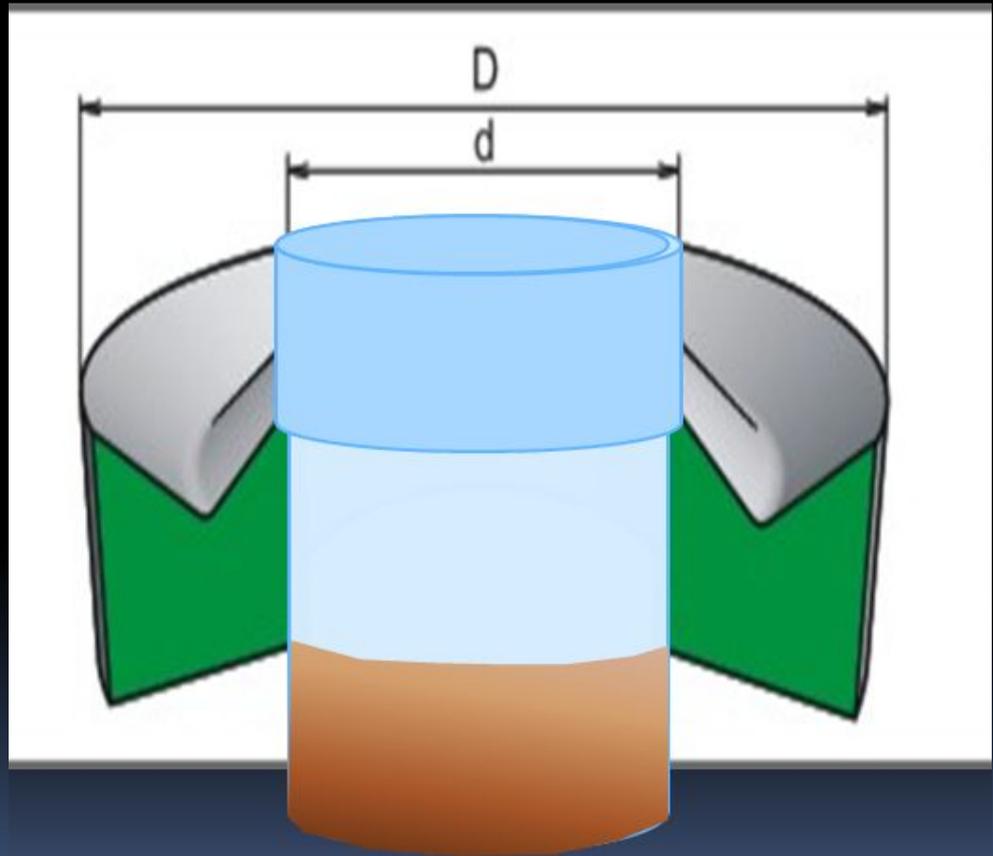
Из-за значительного

различия
механических
свойств трущихся
материалов
решающее влияние
на трение и
изнашивание резин
оказывает
шероховатость
металлической
поверхности.



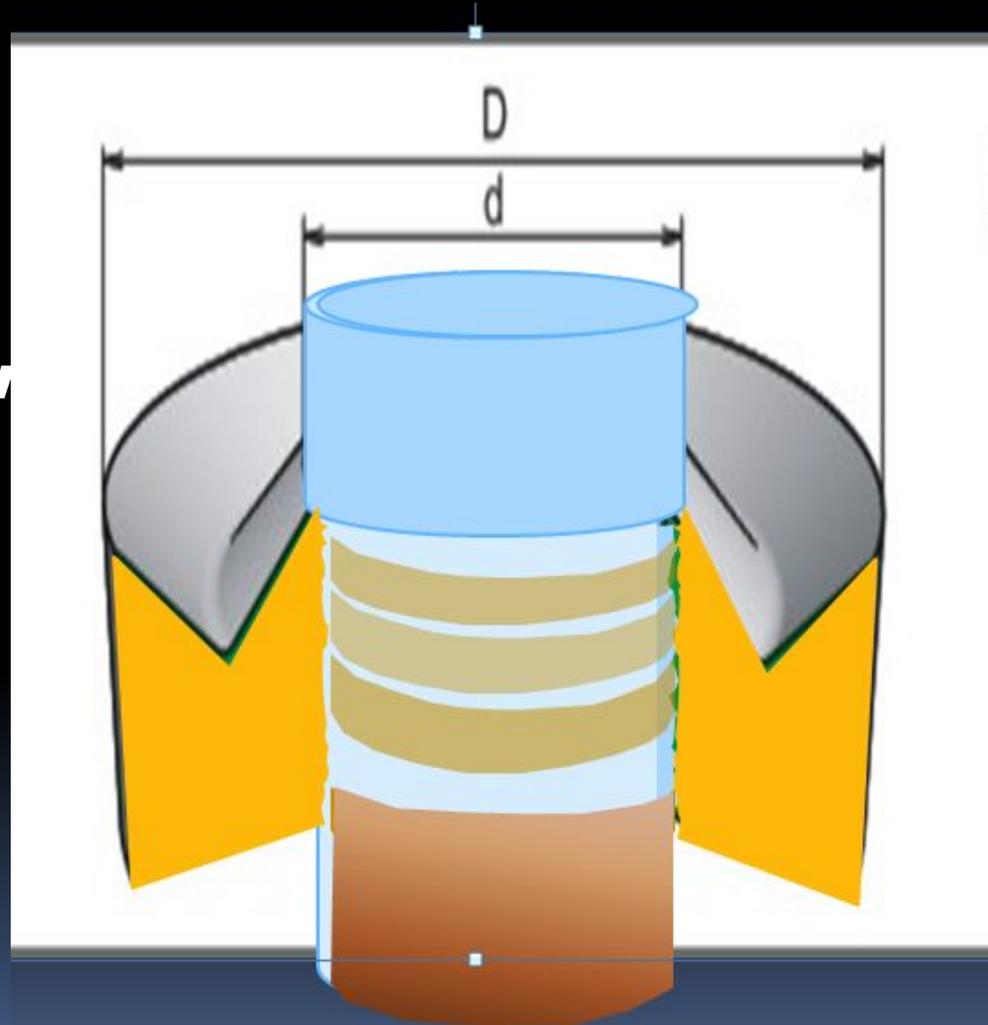
Здесь следует учесть

, что очень **гладкие**
металлические
поверхности
(**$Ra=0.04-0.16$ мкм**)
неспособны
удерживать смазку в
зоне контакта с
уплотняющим
элементом, а это
увеличивает износ.



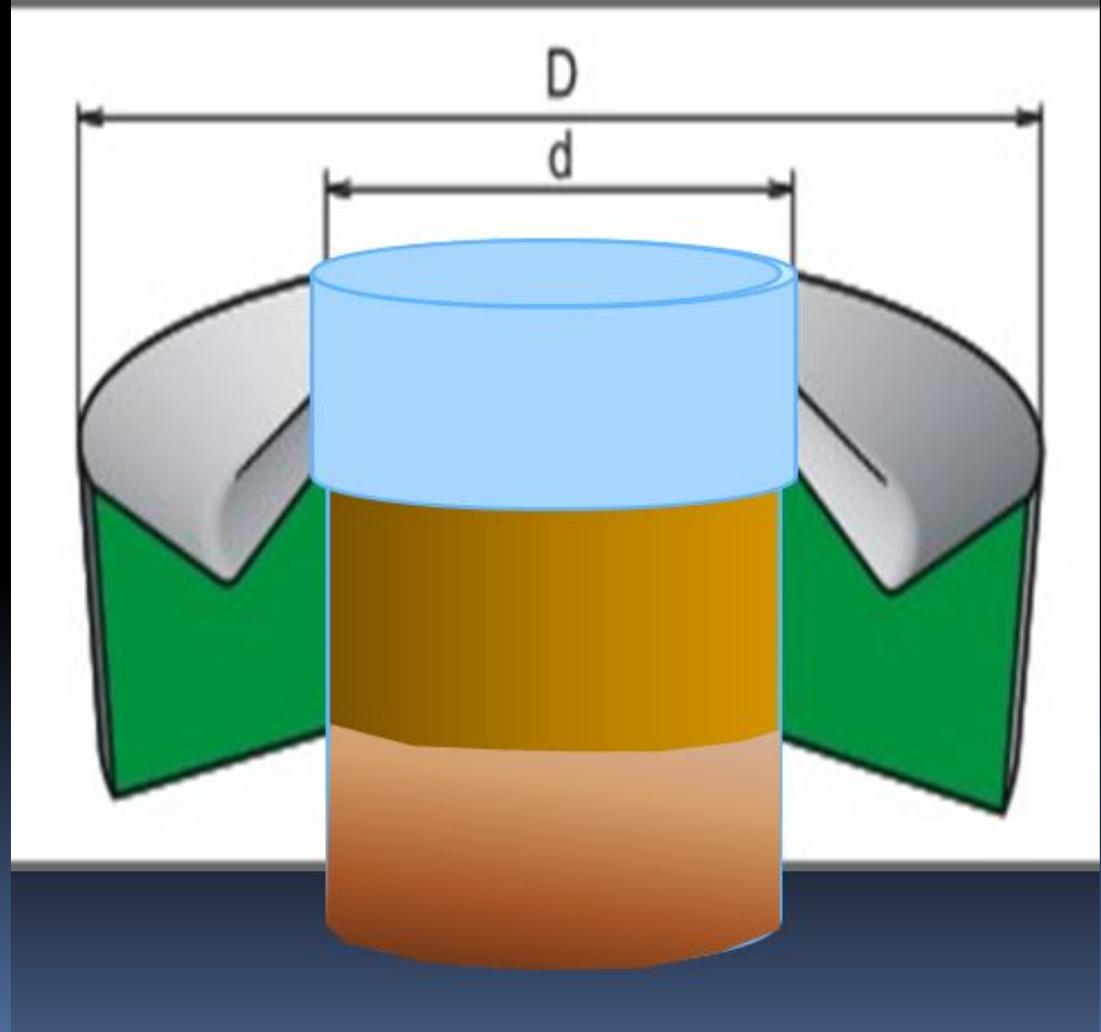
Грубо обработанные

поверхности ($Ra=2.50-1.25$) хорошо удерживают смазку, но большие микронеровности деформируют поверхностный слой резины, что также увеличивает износ.



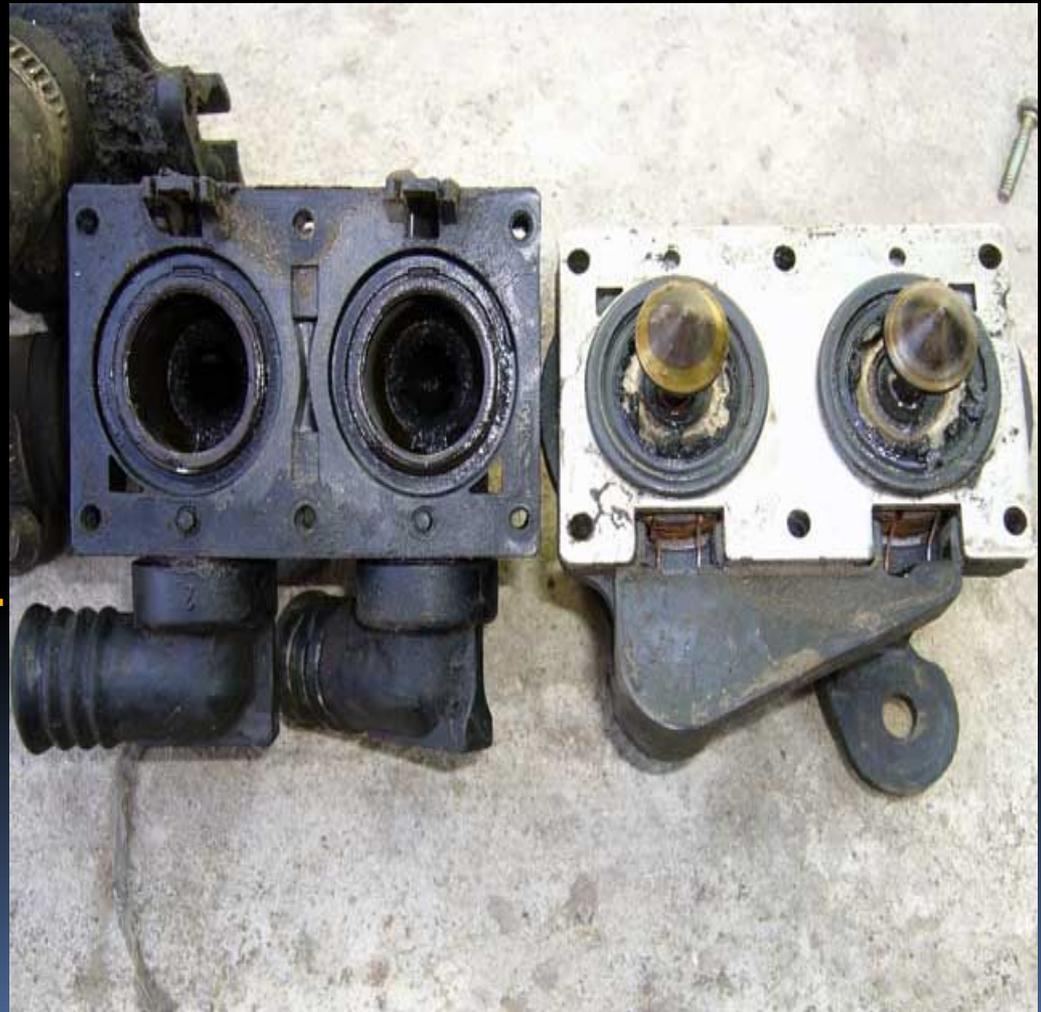
Максимальная ДОЛГ

манжетных
уплотнений
достигается при
парамetre
шероховатости
поверхности
металла
($Ra=0.16-0.63$)



При трении

резин по
твёрдым
поверхностям
наибольшее
значение имеет
усталостный
ИЗНОС



Т.к. в процессе

внешнего трения происходит многократное деформирование резины в отдельных пятнах фактического контакта, которое приводит к разрушению и последующему отделению материала.

Влияние температуры

- Значительное влияние на изнашивание резин оказывает температура.
- Температурный режим работы уплотнений определяется температурой уплотняемой среды и количеством тепла, выделяющегося при трении.

Температура трения

- может при **определённых** режимах работы уплотнений **превышать** температуру уплотняемой среды на **80-100°C**.
- При **значительном износе** и **повышенной температуре** наблюдаются **термоокислительные процессы**, приводящие к **деструкции полимера**.

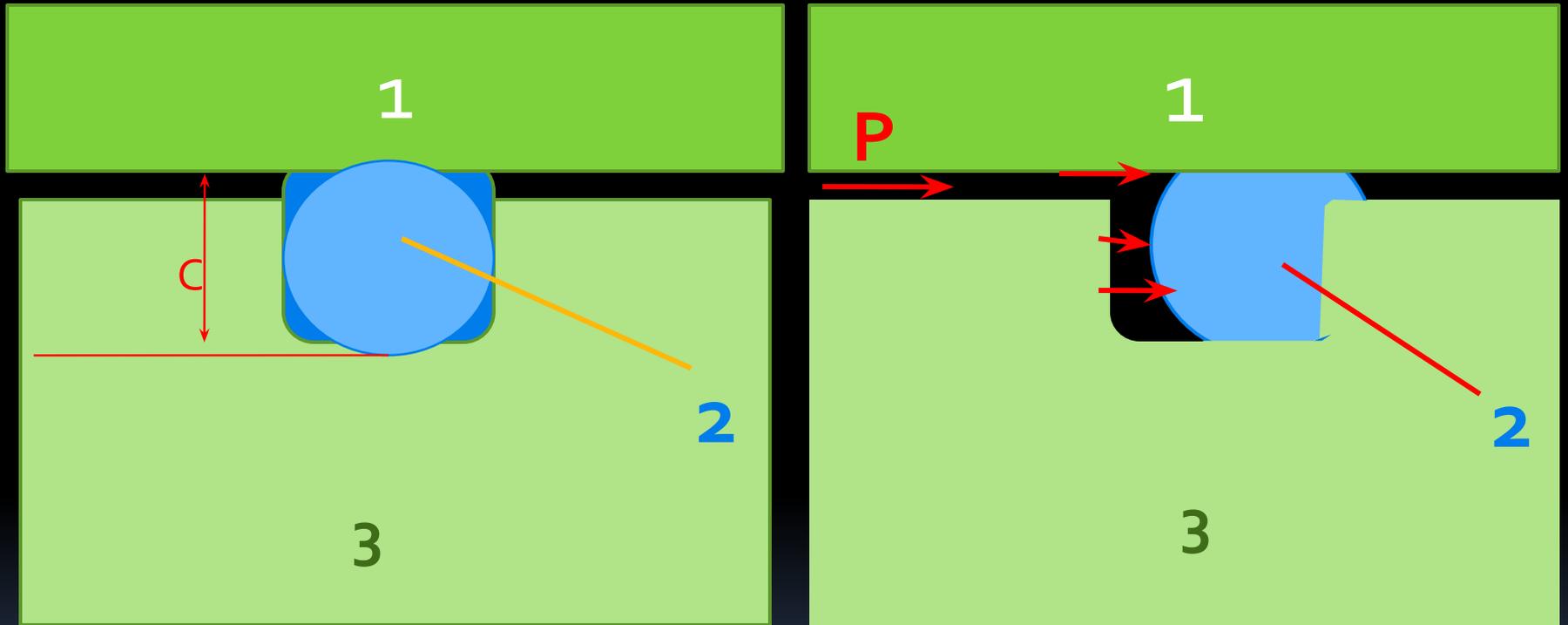
Износы резин

увеличиваются при их деформации.

Рассмотрим это положение на примере работы уплотнительного резинового кольца.

Как известно, каждое кольцо установлено с определённым обжатием, иначе в противном случае не произойдёт уплотнения.

Деформация резинового кольца в процессе работы



Диаметр резинового кольца 2,

установленного для уплотнения

зазора между поршнем 3 и

цилиндром 1, больше чем размер С.

- в процессе работы давлением Р кольцо может быть вытеснено в зазор, при этом резина дополнительно деформируется

Эта деформация

- увеличивает **скорость изнашивания**
 -
- **очень важно** в связи с этим **правильно подбирать размеры колец в соответствии с размерами установочных мест, избегая излишней деформации.**

Резиновые протекторы

шин шасси интенсивно изнашиваются в период эксплуатации и **хранения** .

- Вся шина подвергается деформации при рулении.
- **Поверхностный** слой протектора шины испытывает влияние температуры **при трении о** поверхность взлётно-посадочной и рулѐжной **полос**.

В результате

- окисление **происходит** поверхностного слоя, что приводит к **росту интенсивности изнашивания**.
- Износ протекторов имеет преимущественно **усталостный** характер вследствие многократного **деформирования** при **контактировании** с поверхностью покрытия **полос**.

Однако

- здесь имеет место также абразивный износ, поскольку на поверхности всегда имеются твёрдые частицы.
- Износы неметаллических фрикционных материалов, например в тормозных устройствах, связаны с их функционированием в рабочем состоянии.

Их фрикционно-износные характеристики

расчитываются при проектировании, что даёт **возможность** установить их ресурс на стадии проектирования.

- Остальные **неметаллические материалы** в **большинстве случаев** изнашиваются **вследствие механических напряжений**, воздействия внешней среды, особенно температуры.

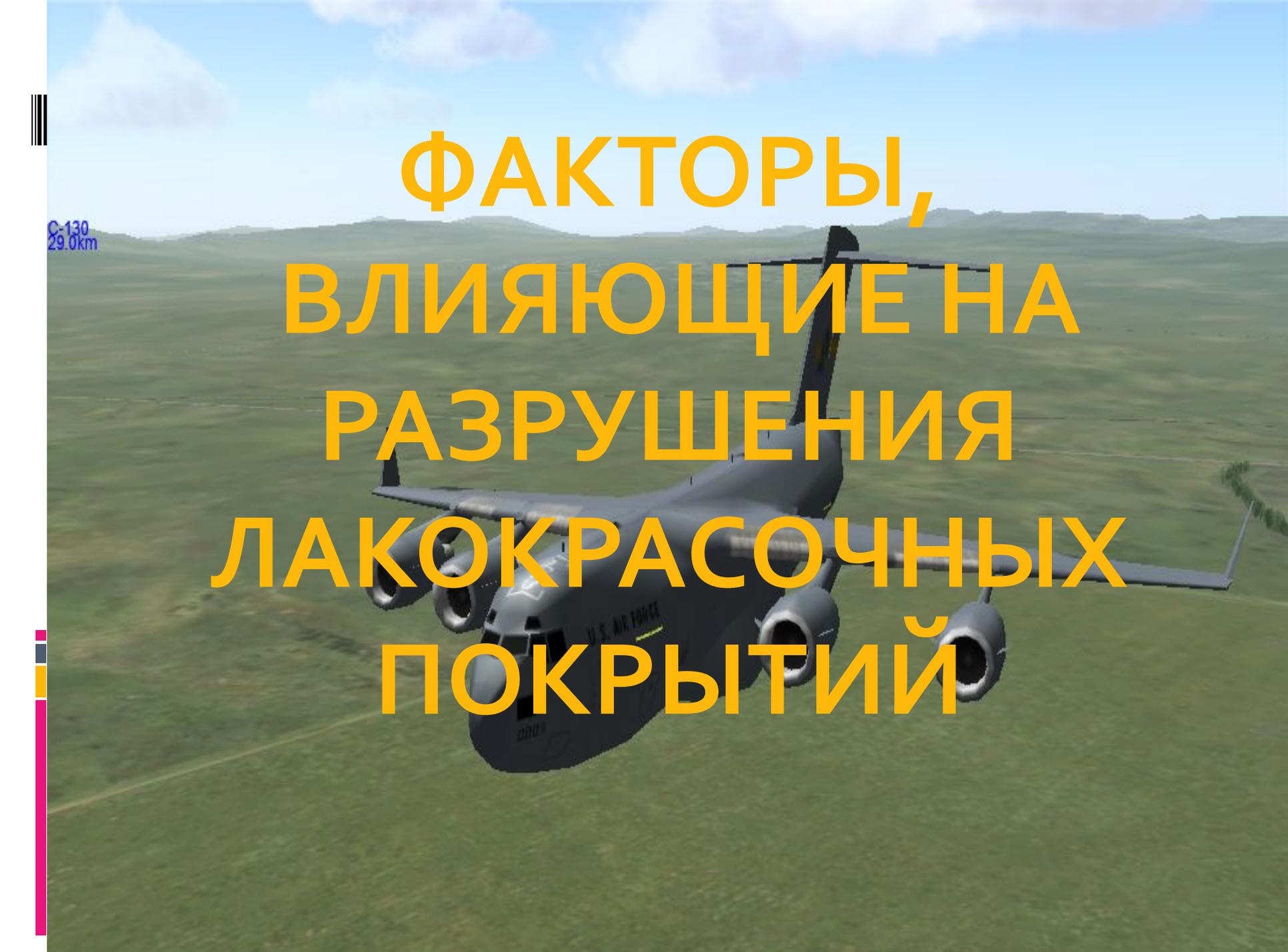
Декоративные материалы

в следствие влияния и
воздействия на них
механических нагрузок,
солнечного света, радиации,
электростатических напряжений
загрязняются, вытягиваются,
теряют форму и их заменяют.



2.6

**РАЗРУШЕНИЕ
ЛАКОКРАСОЧНЫХ
ПОКРЫТИЙ**

A C-130 military transport aircraft is shown in flight, viewed from a low angle. The aircraft is dark grey and has "U.S. AIR FORCE" written on its side. It is flying over a vast, green, hilly landscape under a blue sky with scattered white clouds. The aircraft's four engines and high-wing configuration are clearly visible.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗРУШЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

C-130
29.0km

На долговечность

лакокрасочных покрытий
оказывают влияние
технологические факторы
(подготовка поверхности,
условия сушки и т.п.), качество
материала покрытий, условия
эксплуатации.

ОСОБЕННОСТЬЮ

- авиационных конструкций является довольно длительное их пребывание на значительном удалении от земли, что приводит к более сильному воздействию солнечной радиации, способствующей процессу светового старения лакокрасочного покрытия.

При подъёме на высоту

возрастает **перепад температур**.

- До высоты **11000 м** **понижение температуры** на каждые **1000 м** достигает **6,5 град.С**.
- При этом на высоте **6000-7000 м** **температура окружающего воздуха** **понижается чаще всего ниже -40 град.С**

Перепад температур

способствует **разрушению** покрытий.

- **значительное** влияние на **защитные** свойства покрытий оказывают **отрицательные** температуры.
- При **длительном** воздействии **холода** (-50град.С) плёнки **теряют** **эластичность**, делаются **хрупкими**.

Обшивка

сверхзвуковых самолётов на скоростях полёта около 2000 км/час нагревается до 130 град.С.

- Некоторые детали реактивного двигателя нагреваются до 400град С.
- При таких температурах плёнки теряют массу и снижают свои защитные свойства.

На поверхности

летящего аппарата **образуется**
электрический потенциал,
который может **меняться** в
зависимости от **электрических**
процессов, протекающих в
нижних слоях атмосферы.

Выпадение осадков

способствует возникновению
разности потенциалов на
отдельных участках
конструкции, что ускоряет
разрушения покрытий.

В воздухе

- во взвешенном состоянии могут находиться абразивные частицы (пыль, песок, град), способствующие изнашиванию покрытий (**эрозии**), особенно на лобовых кромках крыла, стабилизатора, лопастей воздушных винтов, лопастей вертолѐта, обтекателей антенн, лопаток воздушного компрессора реактивного двигателя и других поверхностях.

Концентрация влаги

- на окрашенной поверхности, особенно задержка её на длительное время приводят к понижению защитных свойств покрытий.

Под влиянием

перечисленных факторов

происходят :

- изнашивание,
- разрушение,
- изменение цвета,
- потеря защитных свойств лакокрасочных покрытий.



Виды дефектов

Характер их разрушений

классифицируется по видам **дефектов**:

- **меление,**
- **выветривание,**
- **растрескивание,**
- **отслаивание,**
- **пузыри,**
- **сыпь,**
- **коррозия**

Меление-

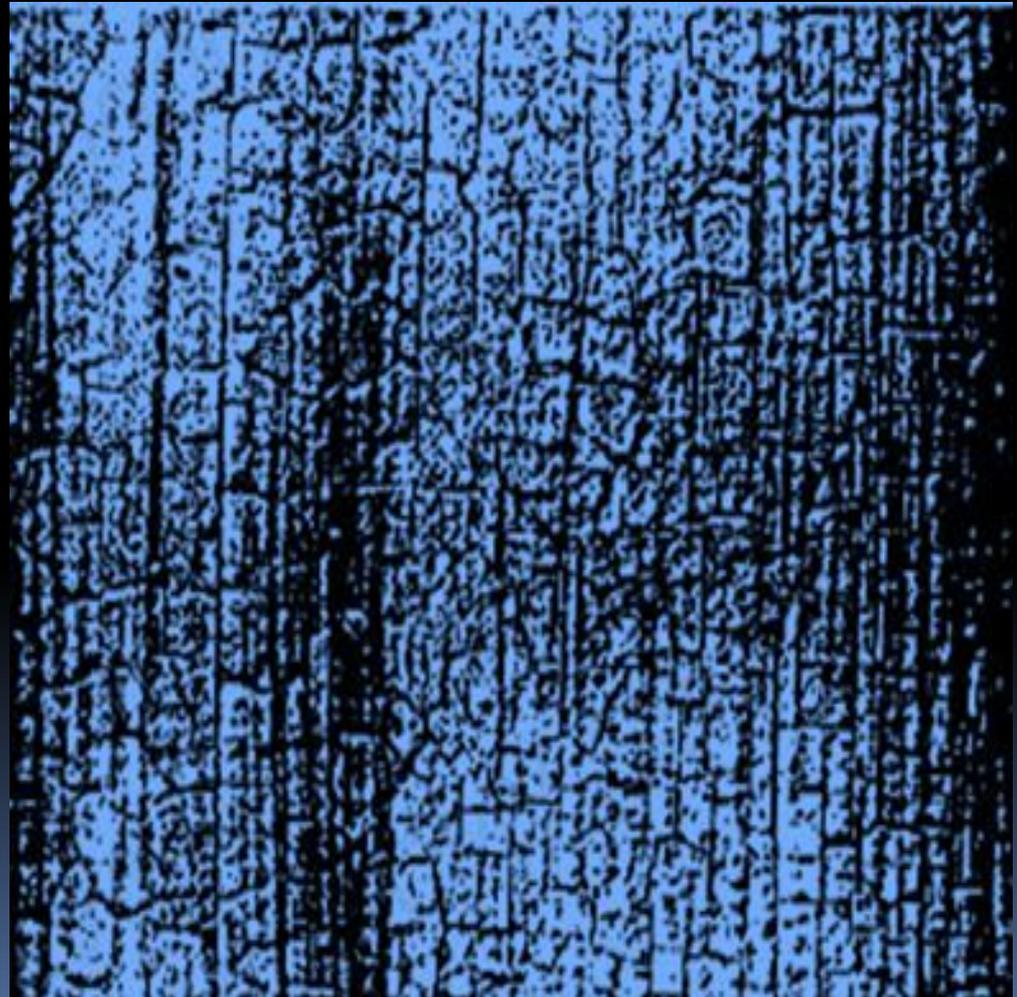
разрушение поверхностного и пигментированного слоя.

- Под воздействием солнечной радиации, кислорода, озона **постепенно изменяется структура полимера, происходит фотоокислительная деструкция.**



В результате

этого плёнка
теряет
прочность и под
действием
потока воздуха
изнашивается
поверхностный
слой.



Затем

незащищённые плёнкой
частицы пигмента

вымываются дождём,
уносятся потоком воздуха,
происходит уменьшение
толщины и разрушение
покрытия.

Выветривание-

- это процесс *эрозионного разрушения* покрытия , при котором *набегающим потоком воздуха уносятся* частицы лакокрасочного покрытия .
- При *интенсивном выветривании* защищаемая поверхность *может быть полностью оголена*.

Растрескивание

лакокрасочного покрытия происходит :

- вследствие старения (изменения свойств покрытия под действием окружающей среды),
- под действием температурных факторов,
- при неоднократных деформациях окрашенной поверхности.

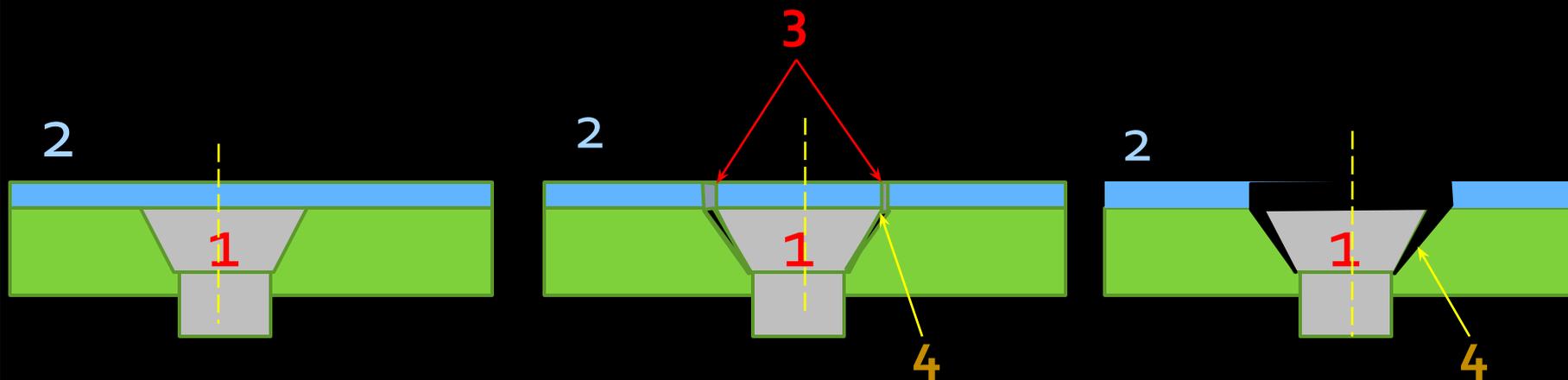
При этом плёнка теряет механическую прочность и эластичность.

Под действием

сил внутренних напряжений в плёнке возникают трещины или шелушения.

- Под влиянием деформаций окрашенного элемента конструкции также может происходить растрескивание покрытия.

Схема разрушения защитной плёнки



- На рис.4.19 изображён **ход разрушения** **защитной плёнки 2**, вокруг головки **заклёпки 1**.
- **Разрушение** начинается с **образования трещин 3**, сквозь которые проникает **влага** и образуется **коррозия 4**, после чего происходит **шелушение**.

Отслаивание

Происходит вследствие нарушения адгезии (сцепления) между слоями покрытия или между покрытием и окрашенной поверхностью.

- Отслаивание является следствием *технологического брака*:
 - **плохой подготовки поверхности,**
 - нарушения **режима сушки,**
 - применения *некачественных* материалов и т.п.

Сыпь и пузыри

- Образуются главным образом под воздействием влаги, которая проникает в тело плёнки через капилляры (образовавшиеся при испарении растворителя), поры, микрозазоры.
- Вследствие поглощения молекул воды плёнка набухает, происходит в отдельных местах деформация покрытия с образованием пузырей, сыпи.

Потеря прочности

плёнки из-за

деформации ведёт к

нарушению адгезии и

дальнейшему

разрушению покрытия.

Коррозия

- Это появление продуктов коррозии на поверхности покрытия **в виде бурых или тёмно-коричневых точек, пятен,** а также **вспучивания** покрытия в результате **скопления продуктов коррозии** под защитной плёнкой

Образование коррозии

под лакокрасочной плёнкой
может быть вызвано

неудовлетворительной

подготовкой поверхности или

недостаточными защитными

свойствами покрытия.

Покрyтия могут разрушаться

- вследствие **растворения** или **размягчения** под воздействием **агрессивных жидкостей** – бензина, минеральных и синтетических масел, химикатов и ядохимикатов.
- Стойкость покрытия к действию агрессивных веществ **зависит от вида лакокрасочных материалов**, которые входят в систему покрытия.

Лакокрасочные плёнки

могут повреждаться в процессе эксплуатации вследствие небрежного обращения (*риски, царапины, забоины*) или контактирования в конструкции (*потертости*)

Разрушение

лакокрасочных покрытий
лишает металл защиты от
коррозии, ухудшает внешний
вид деталей, поэтому их
восстановление при ремонте
имеет весьма важное
значение.