

## Внешнее трение

**Внешнее трение** есть явление сопротивления относительно перемещению, возникающему между двумя телами в зонах соприкосновения их поверхностей.

Причина трения — действие физического и химического полей.

## Внешнее трение

Величина силы трения зависит от вида трения:

- сухое,
- полужидкостное (полусухое),
- жидкостное.

Внешнее  
трение

***Сила трения скольжения*** обусловлена двумя основными параметрами:

$$F_{ск} = f P,$$

$F_{ск}$  — сила трения скольжения;

$f$  — коэффициент трения скольжения;

$P$  — нормальная к плоскости трения нагрузка.

## Внешнее трение

Сила сухого трения качения ( $F_{\text{кач}}$ ) шара или цилиндра (по закону Кулона):

$$F_{\text{кач}} = f_{\text{к}} \frac{P}{r},$$

$f_{\text{к}}$  — коэффициент трения качения;  
 $r$  — радиус качения.

## Внешнее трение

Сила трения ( $F$ ) по адгезионно-деформационной теории И. В. Крагельского зависит от факторов механического и молекулярного происхождения:

$$F = \tau_{\text{мех}} + \tau_{\text{мол}} = \alpha \cdot S_{\text{ф}} + \beta \cdot P$$

$\tau_{\text{мех}}$ ,  $\tau_{\text{мол}}$  — силы соответственно механического и молекулярного происхождения;

$S_{\text{ф}}$  — площадь трущихся поверхностей;

$\alpha$ ,  $\beta$  — коэффициенты, определяемые опытным путем.

## Внешнее трение

Сила трения при жидкостном трении согласно теории Н. Н. Петрова:

$$F = \frac{\eta \cdot S \cdot v}{h}$$

$\eta$  — динамическая вязкость масла;

$S$  — площадь поверхностей, скользящих одна относительно другой;

$v$  — относительная скорость перемещения трущихся поверхностей;

$h$  — толщина масляного слоя.

## Внешнее трение

Сила трения качения меньше силы трения скольжения, так же как сила жидкостного трения ниже, чем сухого.

Поэтому при проектировании машин предпочтительнее предусматривать подшипники качения вместо подшипников скольжения и обеспечивать при их эксплуатации жидкостное трение.

## Внешнее трение

Наивыгоднейший зазор ( $S_{\text{наивыг}}$ ) между валом и втулкой, исходя из минимальной силы трения в слое смазки, находящейся между сопрягаемыми деталями:

$$S_{\text{наивыг}} = D - d = 0,46 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{n \cdot \eta}{p \cdot c}}$$

$D$  — внутренний диаметр втулки;

$d$  — диаметр вала;

$n$  — частота вращения вала;

$\eta$  — динамическая вязкость жидкости;

$p$  — давление в слое жидкости;

$c$  — геометрический параметр сопряжения.



**Внешнее  
трение**

$$c = \frac{d - l}{l}$$

$l$  — длина подшипника.

Обеспечение наивыгоднейшего зазора при проектировании и последующее обеспечение необходимого уровня смазки при эксплуатации машины, гарантирует высокую надежность сопряжения в течение всего расчетного срока его службы.

## Внешнее трение

Сила внешнего трения имеет тройственную механо-физико-химическую природу:

$$F = \gamma_1 \cdot F_m + \gamma_2 \cdot F_\delta + \gamma_3 \cdot F_a$$

$F$  — суммарная сила трения;

$F_m, F_\delta, F_a$  — составляющие, учитывающие механическую и физическую природу процесса трения (механическое взаимодействие шероховатостей поверхностей, деформацию поверхностного слоя, атомное взаимодействие поверхностей);

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  — коэффициенты, учитывающие химическую природу процесса.

## Внешнее трение

Работа сил трения ( $A$ ) расходуется на образование теплоты и поглощение энергии, т. е.:

$$A = Q + \Delta E$$

$Q$  — работа, перешедшая в теплоту;

$\Delta E$  — количество энергии, поглощенной поверхностными слоями трущихся деталей.

## Внешнее трение

На основании двух первых положений теории внешнего трения твердых тел можно записать следующее уравнение износа:

$$И = \int_0^t \varphi(M, B, H, C, t) dt$$

$I$  — износ детали;

$M$  — материал со всеми его свойствами;

$B$  — характер взаимодействия поверхностей, учитывающий род и вид трения;

$H$  — нагрузка (статическая, динамическая);

$C$  — химическое поле (среда);

$t$  — время изнашивания;

$dt$  — приращение времени процесса изнашивания.

## Внешнее трение

В результате установившегося (нормального) трения происходит изнашивание детали и динамическое саморегулирование образования и разрушения вторичных структур.

Существует область режима трения, в которой интеграл отношения запасенной энергии ( $\Delta E$ ) к работе сил трения ( $A$ ) по деформируемому объему ( $dV$ ) принимает минимальное значение:

$$\int_V \frac{\Delta E}{A} dV = \min$$

$V$  — объем, воспринимающий нагружение трением.

## Внешнее трение

При заданных конструкцией характере взаимодействия деталей сопряжения, режиме трения свойства химического поля можно путем подбора материала и его обработки обеспечить установившийся нормальный (не аварийный) износ деталей, благодаря чему можно повысить надежность техники.



## Разрушение при действии однократной нагрузки

При однократном приложении постоянно возрастающей нагрузки разрушение материалов может в зависимости от степени пластической деформации быть:

- хрупким,
- квазихрупким,
- вязким.

Пластические деформации (изгиб, коробление, скручивание, растяжение и т. д.) возникают под воздействием сил, вызывающих напряжения более пределов упругости и текучести материала объекта.

## Разрушение при действии однократной нагрузки

*Хрупкое разрушение* происходит в результате распространения магистральной трещины после макроскопически незначительной пластической деформации, сосредоточенной в приповерхностной зоне трещины.

Материалы в хрупком состоянии обладают очень малой энергоемкостью и поэтому плохо сопротивляются действию динамических нагрузок.

Они также плохо сопротивляются растягивающим нагрузкам и весьма чувствительны к конструктивным концентраторам напряжения и дефектам.



## Разрушение при действии однократной нагрузки

При квазихрупком разрушении существуют пластическая зона перед фронтом трещины и пластически деформированный материал у поверхности трещины.

Остальной, значительно больший по величине, объем тела находится в упругом состоянии.

## Разрушение при действии однократной нагрузки

Вязкое разрушение происходит после существенной пластической деформации, протекающей по всему или почти по всему объему тела.

Иногда выделяют еще квазивязкое разрушение, занимающее промежуточное положение между вязким и квазихрупким.



## Усталостное разрушение

Под действием переменных напряжений в материалах происходит процесс постепенного накопления повреждений, приводящий к образованию трещин, их развитию и разрушению.

*Усталость металла* — явление, при котором напряжения разрушения при многократных циклических нагрузках могут быть ниже не только предела прочности или текучести, но и упругости.

## Усталостное разрушение

Способность металла сопротивляться усталостному разрушению называют *выносливостью*, или циклической прочностью.

Основным критерием, характеризующим способность металла сопротивляться усталостному разрушению, является *предел выносливости*, обозначаемый через  $\sigma_{-1}$ .

Индекс -1 означает, что при данной характеристике знакопеременного симметричного цикла конструкция выдержит так называемое базовое число нагружений —  $N_{\text{баз}}$ , равное для большинства конструкций  $10^6 \dots 10^7$  нагружений.

Предел выносливости в общем виде обозначается  $\sigma_R$ .

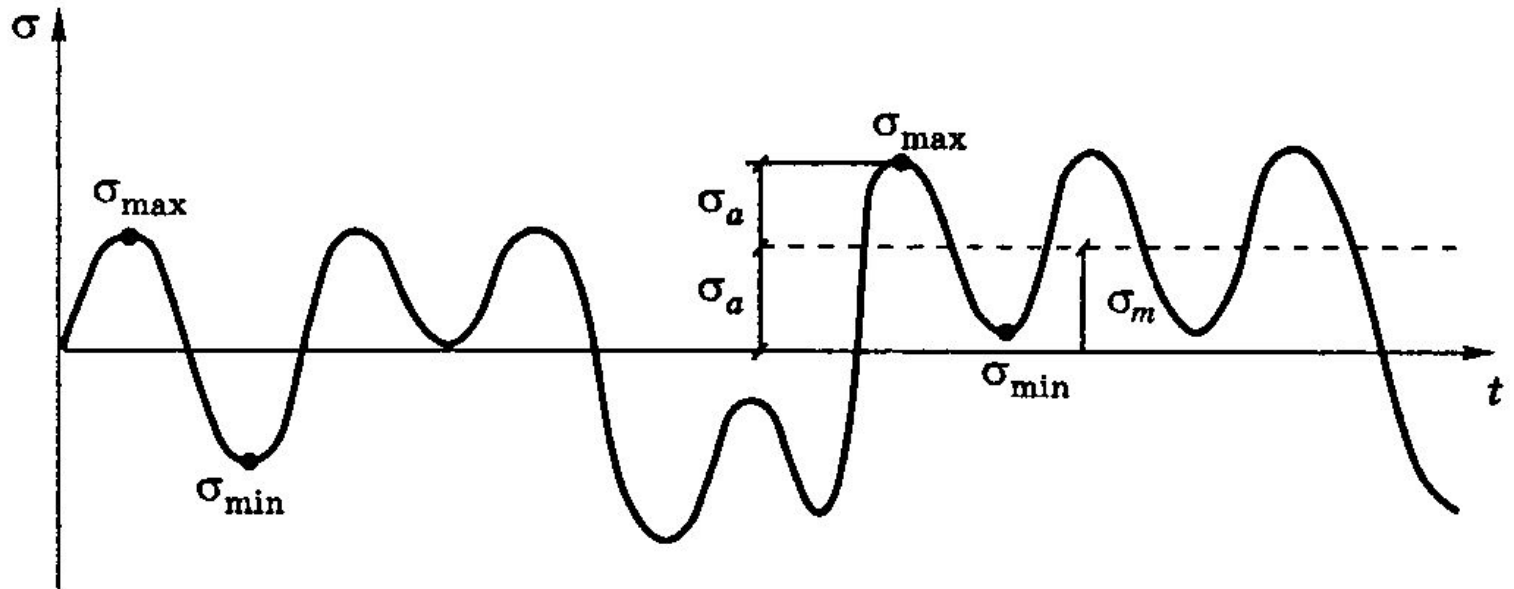
## Усталостное разрушение

Цикл напряжений характеризуется максимальным  $\sigma_{\max}$ , минимальным  $\sigma_{\min}$  напряжениями, амплитудой напряжений  $\sigma_a$ , средним напряжением цикла  $\sigma_m$  и коэффициентом асимметрии  $R$ .

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

## Усталостное разрушение



Вариант изменения напряжений (амплитуд напряжений) в металлоконструкции элемента машин

## Усталостное разрушение

Из рисунка видно, что амплитуды напряжений возникают с различными значениями  $R$ , а не только с коэффициентами, равными  $R = -1$ . Поэтому все амплитуды ( $\sigma_a$ ) с помощью эквивалентного напряжения приводятся к дающим такие же усталостные повреждения амплитудам ( $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ ) симметричного цикла по формуле

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_a + \psi \cdot \sigma_m$$

$\sigma_m$  — среднее напряжение цикла ( $\sigma_m = (\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}})/2$ );

$\psi$  — коэффициент чувствительности к асимметрии цикла

## Усталостное разрушение

Физически суть процесса накопления усталостных повреждений заключается в зарождении и развитии **усталостных микротрещин** из несплошностей материала элементов конструкций под действием многократных переменных (циклических) нагрузок.

Под **несплошностью** материала будем рассматривать технологические дефекты, которые присутствуют в элементах конструкций еще до эксплуатации:

- технологические повреждения в виде включений,
- поры,
- риски от механической обработки,
- литейные раковины и др.





## Коррозионное разрушение

Под действием химического поля (кислотной или щелочной среды) детали лесных машин претерпевают коррозионное разрушение.

**Коррозия** (от *лат.* *corrosio* — разъедание) — это разрушение металлов в результате химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой.

## Коррозионное разрушение

Скорость коррозии зависит:

- от скорости диффузии;
- от скорости реакции.

Отвод продуктов коррозии способствует повышению скорости диффузии и реакции.

Практическая рекомендация — не снимать продукты коррозии без последующей незамедлительной работы по антикоррозийной обработке ржавеющей поверхности.

***Причина коррозии*** — термодинамическая неустойчивость металлов, вследствие чего в природе они почти всегда находятся в окисленном состоянии.

***Коррозия*** — процесс, противоположный металлургическому, не нуждающийся в каких-либо энергетических затратах.

**Коррозия** — гетерогенный процесс, протекающий на границе раздела металл-газ или металл-жидкость.

Скорость коррозии определяется факторами:

- состоянием поверхности металла (защищенной, незащищенной);
- температурой металла и окружающей среды;
- составом и скоростью движения коррозионной среды;
- напряженным состоянием металла и др.

***Классификация коррозии по геометрическому характеру коррозионных разрушений:***

- а) сплошная (общая);
- б) местная;
- в) подповерхностная;
- г) межкристаллическая;
- д) избирательная.

***Классификация коррозии по характеру взаимодействия металла со средой:***

- а) химическая (протекает в средах, не проводящих ток);
- б) электрохимическая (в водных растворах электролитов: солевая, щелочная, кислотная).

## Коррозионное разрушение

### ***Классификация коррозии по типу среды:***

- а) атмосферная;
- б) газовая;
- в) морская;
- г) подземная.

## ***Классификация коррозии по характеру дополнительных воздействий:***

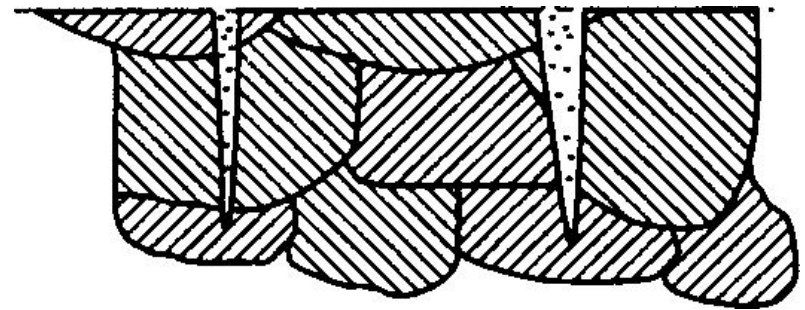
- а) коррозия под напряжением;
- б) коррозия при трении;
- в) контактная коррозия;
- г) фреттинг-коррозия;
- д) электрокоррозия внешним током;
- е) радиохимическая (под действием излучения);
- ж) биокоррозия (под действием продуктов, выделяемых микроорганизмами).



Коррозионное  
разрушение

## *Коррозионное растрескивание*

Головки цилиндров ДВС, выпускные  
коллекторы, стенки котлов.

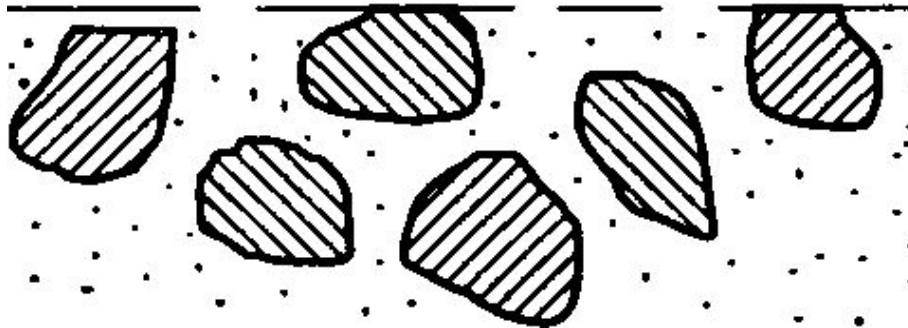


Поражение металла, вызванное  
одновременным действием коррозионной  
среды и номинально статическим  
растягивающим напряжением.

Коррозионное  
разрушение

## ***Межкристаллитная коррозия.***

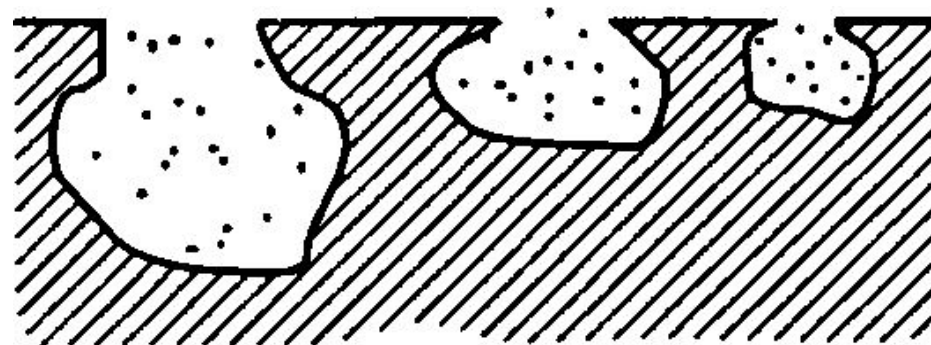
Выпускные трубы, жаровые трубы.



Коррозионное  
разрушение

## ***Коррозия пятнами.***

Кузова автомобилей, гильзы цилиндров в полосе движения верхнего компрессионного кольца.



## ***Коррозионная усталость.***

Возникает при одновременном действии коррозионной среды и циклических нагрузок.

Такому виду коррозии подвержены элементы конструкций газовых турбин, гидротурбин, насосов.

## Показатели коррозионных повреждений

1. Изменение массы, отнесенное к единице поверхности.
2. Изменение массы ко времени — скорость коррозии.
3. Глубина коррозии.
4. Доля поверхности, занятая продуктами коррозии.
5. Число коррозионных точек на единице поверхности.
6. Время до появления первого очага коррозии.
7. Время до появления коррозионной трещины или до полного разрушения.
8. Значение тока коррозии.

## **Меры борьбы с коррозией могут осуществляться в форме:**

1. Воздействия на металл.
2. Воздействия на среду.
3. Воздействия на конструкцию.

## Коррозионное разрушение

***Воздействие на металл*** подразумевает:

- антикоррозийное легирование,
- антикоррозийные покрытия,
- электрохимическую защиту.

***Воздействие на среду*** предусматривает:

- ввод ингибиторов для уменьшения электрохимической коррозии,
- обескислороживание,
- использование инертных и защитных газов при нагреве металла,
- осушение воздуха в помещениях хранения техники и использование при этом летучих ингибиторов и инертных газов.

# Коррозионное разрушение



Вид коррозии	Основные показатели коррозии и коррозионной стойкости		
	Интегральный показатель коррозии	Скоростной показатель коррозии	Показатель коррозионной стойкости
Сплошная коррозия (равномерная)	Глубина проникновения коррозии.	Линейная скорость коррозии.	Время проникновения коррозии на допустимую глубину.
	Потеря массы на единицу площади	Скорость убыли массы	Время до уменьшения массы на допустимую величину
Коррозия пятнами	Степень поражения поверхности	—	Время достижения допустимой степени поражения
Межкристаллитная коррозия	Глубина проникновения коррозии. Снижение механических свойств ( $\delta$ , $\psi$ , КСЧ, $\sigma_b$ )	Скорость проникновения коррозии	Время проникновения на допустимую глубину. Время снижения механических свойств до допустимого уровня
Коррозионное растрескивание	Глубина (длина) трещин. Снижение механических свойств ( $\delta$ , $\psi$ )	Скорость роста трещин	Время до появления первой трещины. Время до разрушения образца. Уровень безопасных напряжений. Пороговый КИН* при коррозионном растрескивании
Коррозионная усталость	Глубина (длина) трещин	Скорость роста трещин	Количество циклов до разрушения. Условный предел коррозионной усталости. Пороговый КИН при коррозионной усталости



# Коррозионное разрушение

Fin