

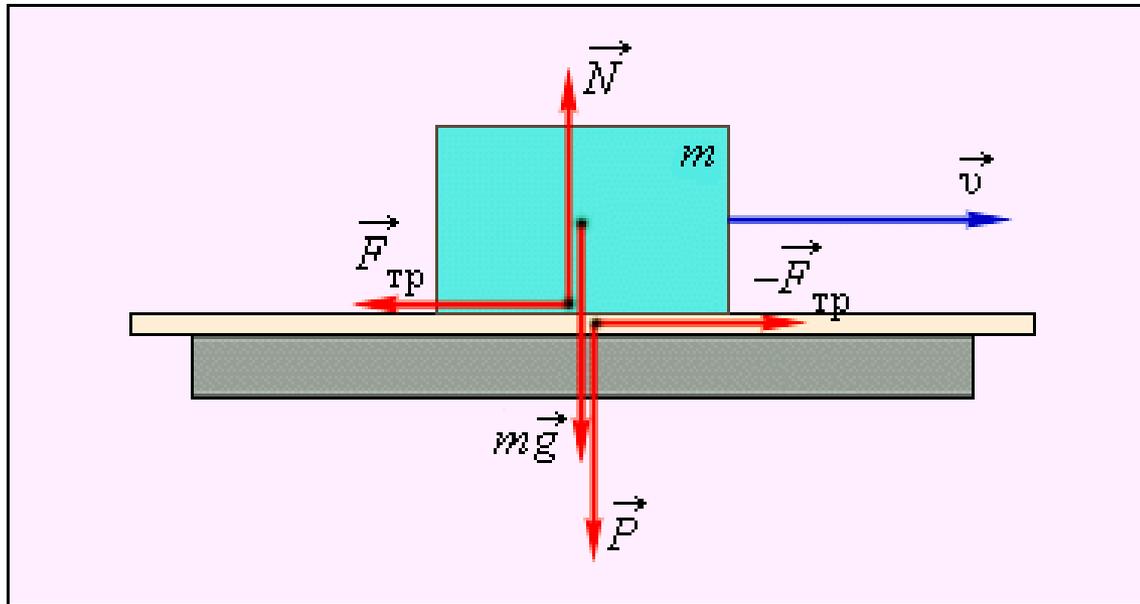
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Законы трения и изнашивания

Научно-популярная лекция

**Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы»,
Соглашение № 14.В37.21.0447**

- Изнашивание — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела при трении и (или) увеличение его остаточной деформации, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.
- Трение – механическое сопротивление двух поверхностей, движущихся друг относительно друга. Трение является основной причиной изнашивания деталей машин. Проблемы трения, изнашивания и смазывания изучает наука трибология.
- Трибология – наука о трении (греч. τριβή, τριβος – трение). Трибология базируется на фундаментальных законах физики, химии, механики сплошных сред, термодинамики и материаловедения.



Классификация видов трения

Различают трение:

- **скольжения,**
- **качения,**
- **покоя.**

Сила трения качения примерно в 10 раз меньше силы трения скольжения.

По наличию смазки различают трение:

- **- сухое;**
- **- жидкостное;**
- **- граничное.**

Полезно трение или вредно?

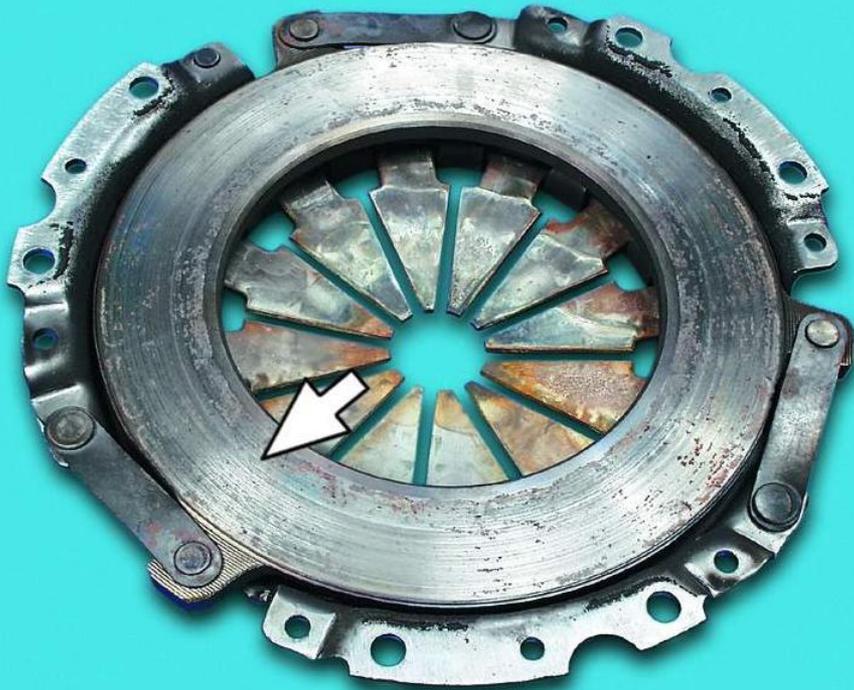
- Многие, не задумываясь, отвечают: "Конечно, вредно!" И на первый взгляд они правы. Действительно, из-за трения изнашиваются механизмы и машины, стираются подошвы ботинок и шины автомобиля, затруднено передвижение различных грузов, невозможно создание вечного двигателя и многое другое.
- Но, с другой стороны... Без трения движущийся автомобиль не сможет остановиться, а неподвижный - тронуться с места. Пешеходы упадут на асфальт и не смогут подняться. Кроме того, они неожиданно окажутся голыми, так как нитки в тканях удерживаются трением. Вся мебель в комнате собьется в один угол (в соответствии с наклоном пола), тарелки и стаканы соскользнут со стола, гвозди и шурупы выскочат из стен, ни одну вещь нельзя будет взять в руки, вы не сможете перевернуть страницу журнала...

Трение: pro et contra

Вред от трения:

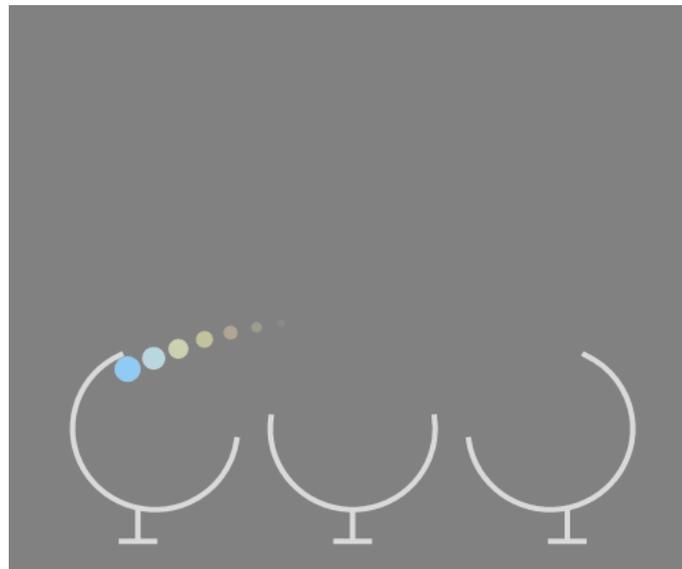
- Трение скольжения является причиной нагрева и изнашиваниядвигающихся деталей в механизмах
- Потери энергии (коэффициент полезного действия всегда меньше единицы) и обусловленная данным фактом невозможность построения вечного двигателя (*perpetuum mobile*)

Следы изнашивания



**Изношенные поверхности диска сцепления
и поверхности цилиндра в ДВС**

Модели вечного двигателя



Полезно трение или вредно?

Польза от трения:

- Наличие силы трения между Землей и перемещающимся по ней телом позволяет машинам начинать движение и тормозить, а людям — ходить.
- Фрикционные механизмы позволяют быстро и эффективно изменять относительную скорость тел.
- Выделяемое при трении тепло используется для получения неразъемного соединения (сварка трением).

Перемещение благодаря силе трения



Фрикционные механизмы



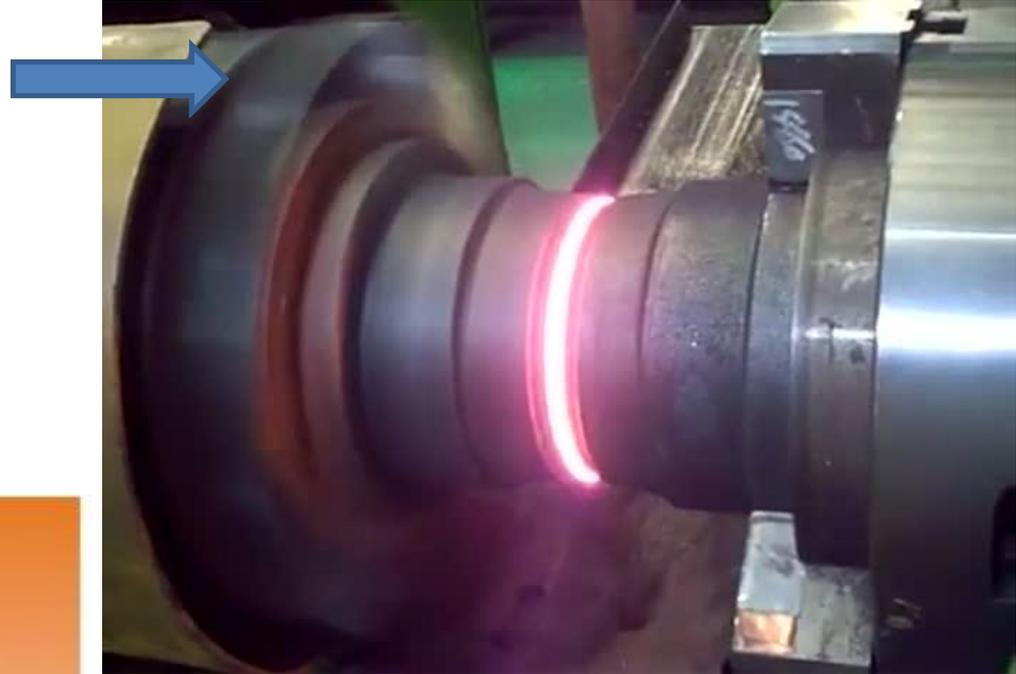
**Нагретый
тормозной диск
автомобиля**

**Вариаторная
коробка
переключения
передат**

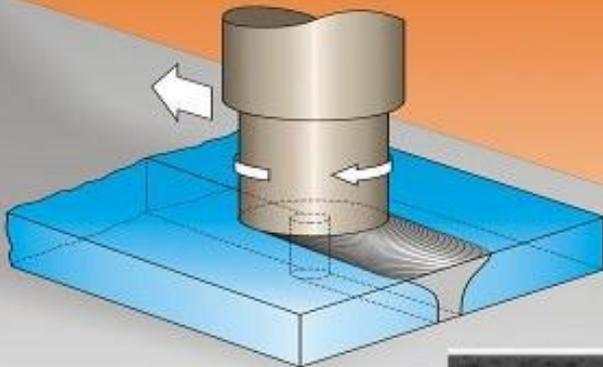


Сварка трением

Сварка трением
вращающихся деталей



Сварка трением с
перемешиванием
(детали неподвижны)



Теории трения

Существует 5 теорий, объясняющих процессы, происходящие при трении:

- **механическая;**
- **молекулярная;**
- **молекулярно-механическая;**
- **энергетическая;**
- **гидродинамическая.**

Механическая теория

Предложена в 1699 году (Гильом Амонтон) для случая сухого трения:

$$F = f_{\text{ск}} \times P,$$

где $f_{\text{ск}}$ - коэффициент трения скольжения;

P - нормальная к плоскости трения нагрузка, N .

Предполагает наличие двух периодов: первоначальной приработки и нормального изнашивания.

Она объясняет причину возникновения трения зацеплением шероховатостей трущихся поверхностей, но не объясняет увеличение трения у очень гладких поверхностей.

Так, если считать, что изнашивание — следствие лишь процессов деформации и разрушения поверхностных слоев при механическом взаимодействии микронеровностей, то необъяснимым является тот факт, что полированные поверхности в процессе трения и изнашивания приобретают определенную шероховатость. Кроме того, невозможно объяснить и механизм изнашивания поверхности с высокими механическими свойствами при трении о мягкие поверхности.

Молекулярная теория

В 18-ом столетии была предложена молекулярная теория трения, далее развитая Томпсоном (1929 г.) и Б.В. Дерягиным (1934 г.):

$$F = f_{ск} \times (P + p \times S),$$

где p - добавочное давление, вызванное силами ионно-атомного притяжения, МПа; S - площадь контакта, m^2 .

Эта теория исходит из допущения существования молекулярных сил взаимодействия между контактирующими микровыступами.

В соответствии с молекулярной теорией трения и изнашивания на отдельных участках трущихся поверхностей молекулы настолько сближаются, что начинает проявляться взаимодействие молекулярных сил, аналогичное притяжению разноименных зарядов. Результат молекулярного взаимодействия между трущимися телами — износ чисто обработанных (полированных) поверхностей.

Молекулярно-механическая теория

Предложена И.В. Крагельским (1946 г.) :

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{\text{мех}} + \mathbf{F}_{\text{мол}} = \mathbf{a} \times \mathbf{S}_{\text{ф}} + \mathbf{b} \times \mathbf{P},$$

где $\mathbf{F}_{\text{мех}}$, $\mathbf{F}_{\text{мол}}$ – составляющие силы трения, $\mathbf{S}_{\text{ф}}$ – фактическая площадь контакта, \mathbf{P} – удельное давление, \mathbf{a} и \mathbf{b} -эмпирические коэффициенты.

Эта теория исходит из предположения, что трение имеет двойственную природу и обусловлено как взаимным внедрением микровыступов трущихся поверхностей, так и силами молекулярного взаимодействия.

С учетом влияния на процесс изнашивания вида трения данная теория является общепризнанной.

Энергетическая теория

Предложена А.Д. Дубиным (1952 г.).

Согласно этой теории природа трения и процессы, происходящие при нем, должны подчиняться не законам сил, а законам энергий и их превращения.

Энергетическая теория трения и износа базируется на физико-химических явлениях, из которых следует, что процесс трения один, но эффекты, связанные с ним, могут быть различны и зависят от многих факторов.

Качественно процесс трения характеризуется физико-химическими явлениями, а количественно — механическим эффектом (коэффициентом и силой трения, а также износом поверхности).

Гидродинамическая теория

Петров Н.А.(1883 г.), Жуковский Н.Е. (1886-1889 гг.), Чаплыгин (1897-1896 гг.), Рейнольдс (1886 г.), Зоммерфельд (1931 г.).

Эта теория разработана на основе гидродинамической теории смазки (Петров):

$$F = \eta \times v \times S / h ,$$

где F – сила вязкого сдвига в нагруженной части подшипника, Н; η - абсолютная вязкость масла, Па×с; v – относительная скорость перемещения трущихся поверхностей, м/с; S – площадь поверхности скольжения, м²; h – толщина масляного слоя, м.

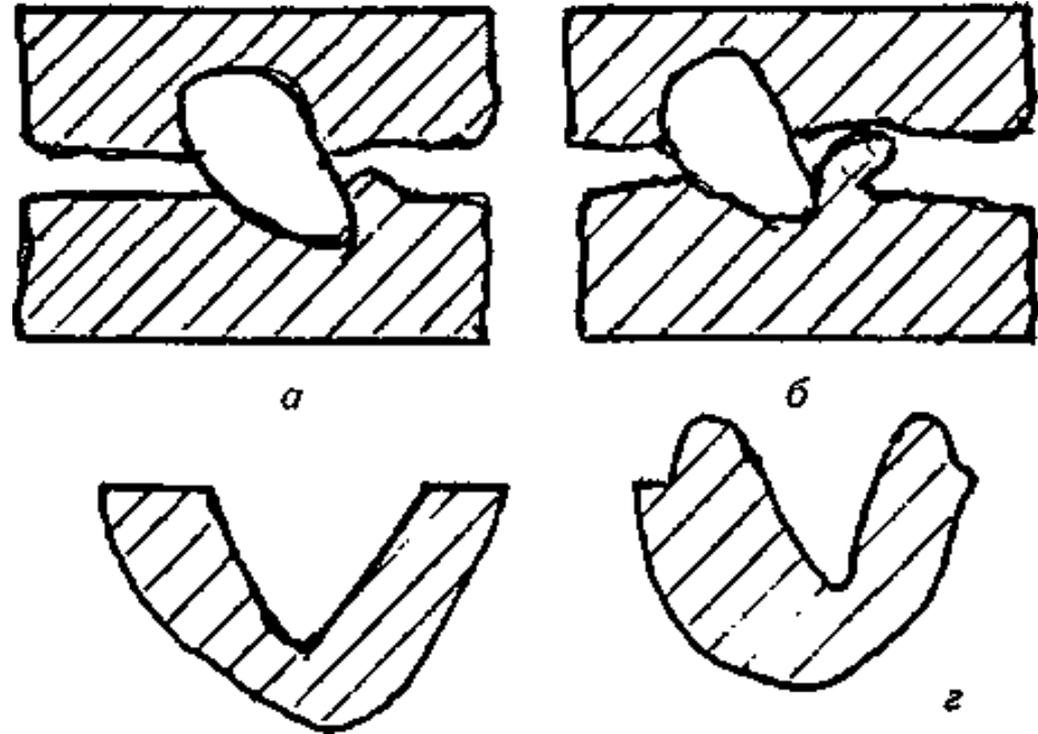
Виды изнашивания

Различают три основных вида изнашивания:

- 1) механическое** (абразивное, гидро- и газоабразивное, эрозионное, гидро- и газоэрозионное, кавитационное, усталостное, при заедании);
- 2) коррозионно-механическое** (окислительное, фреттинг-коррозия);
- 3) при действии электрического тока** (электроэрозионное).

Абразивное изнашивание

Является наиболее распространенным видом изнашивания деталей сельскохозяйственной техники, вызываемым воздействием на них абразивных (твердых) частиц, содержащихся в почве.



Окислительное изнашивание

Основной причиной, вызывающей коррозионное разрушение металлов, является протекание на их поверхностях реакций взаимодействия металла с окружающей средой. Если эта среда является электропроводной, то коррозию называют электрохимической.

Электрохимическая коррозия сопровождается упорядоченным движением ионов, т. е. появлением электрического тока.

Силу коррозионного тока определяют по закону Ома:

$$I_{\text{кор}} = (E_{\text{к}} - E_{\text{а}}) / R,$$

где $E_{\text{к}}$ и $E_{\text{а}}$ — электродные потенциалы катода и анода, В;

R — сопротивление системы, Ом.

Методы снижения трения

ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ СНИЖАЕТ КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ТЕЛ!!!

Смазочные материалы – это продукты органического или неорганического происхождения, которые наносят на поверхность трения (процесс смазки) для уменьшения силы трения и интенсивности изнашивания.

Смазка, при которой осуществляется полное разделение трущихся поверхностей сопряженных деталей жидким смазочным материалом, называется жидкостной. При ее реализации полностью исключен непосредственный контакт трущихся тел, а внешнее трение этих тел заменяется много меньшим внутренним трением смазочной среды, разделяющей эти тела.



Патент на состав смазки (1848 г.)

Британский патент 12109 (Джозеф Джон Долан)

Состав смазочного материала с высокими эксплуатационными характеристиками:

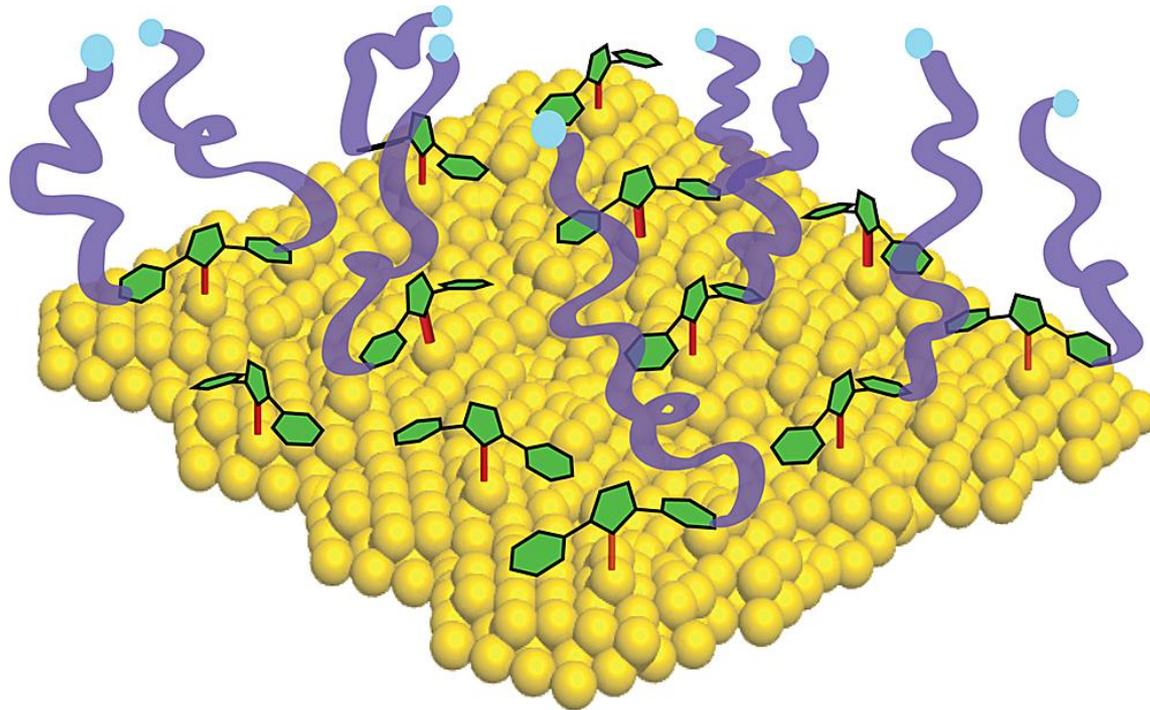
*...Зеленые листья растительной субстанции, называемой лавром;
...Зеленые листья растительной субстанции, называемой плющом;
...Соленокислая соль ртути;...субнитрат висмута;
...Сульфат меди;...сульфат цинка;...сурьмяной винный камень;
...Растительное масло Римского...Гренандского или южного кита;
...Оливковое масло;...семенное масло;...пальмовое масло;
...Растительная субстанция, называемая каучуком;...обычное коричневое мыло;
...Белый перец;...свинцовые белила;
...Обычная соль и порошкообразные квасцы и графит.*

Примечание. В композицию можно ввести графит и голубую краску для придания композиции цвета.

Присоединение молекул к поверхности тел

Действие смазочных материалов заключается в образовании на поверхности трения тонкого слоя продуктов взаимодействия (физико-химического, коллоидно-химического, химического) активных компонентов смазочного материала с материалом поверхностного слоя трущихся тел.

Этот слой предотвращает (или минимизирует) непосредственный металлический контакт сопряженных деталей, приводящих к интенсивному изнашиванию этих деталей и к заеданию узла трения.



Последствия работы систем без смазки...

...Однажды авиаконструктор Ильюшин потерпел аварию на самолете «Як». При свидании с создателем «Яка» он сказал: «Саша, к тебе претензий нет. Самолет замечательный, но, оказывается, мотор без масла не работает. Авария произошла по вине техника, который **забыл заправить самолет маслом**».

