

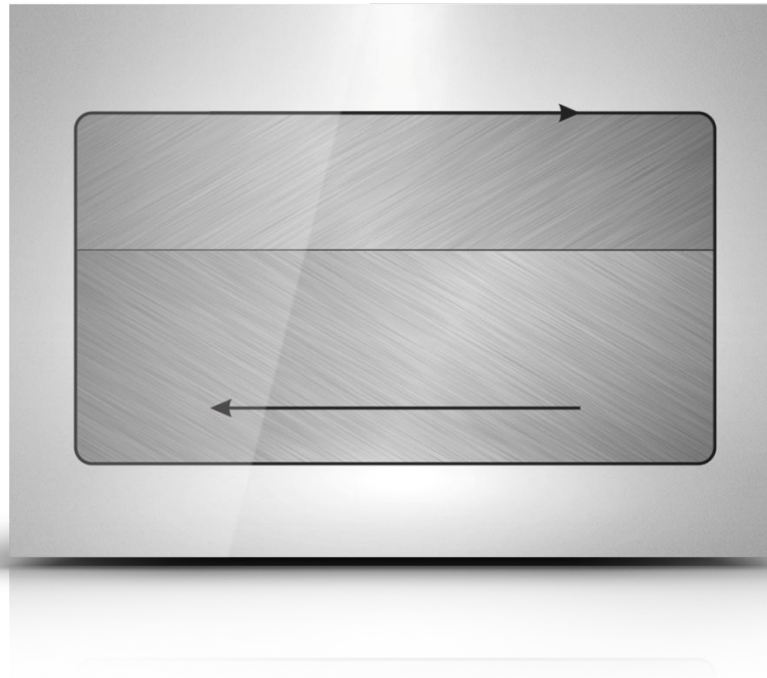


Введение в трибологию

Трибология -
(от греч. tribos-трение и logos-наука) –
наука о трении.

Триботехника -
техническое применение трибологии.





Трение - комплекс явлений в зоне контакта поверхностей двух перемещающихся относительно друг друга тел.

Мерой трения является сопротивление трения (сила трения).

Последствия трения

Негативные

- Изнашивание в местах трения
- Возникновение вибраций, поломок, аварий
- Потеря энергии
- Перегрев механизмов

Позитивные

- При работе ременных, механических передач
- При сцеплении колесного транспорта с основанием (дорога рельсы)
- При соединении деталей



Потери на трение составляют до 30% потребляемой в мире энергии



Основные этапы развития трибологии

Вторая половина XV века Леонардо да Винчи – Первые научные изыскания в области трения твердых тел.

1711 г. – 1765 г. М.В. Ломоносов – сконструировал прибор для исследования сцеплений между частицами тел «долгим стиранием». Разработал теорию изнашивания материалов.

1781 г. Ш. О. Кулон – сформулировал закон сухого трения (скольжения и качения).

1707 г. – 1783 г. Л. Эйлер – вывел зависимости о трении гибкой нерастяжимой нити, перекинутой через шкив, используемые при расчете сил трения в элементах с гибкой связью.

1880 г. -1881 г. Д.И. Менделеев - разработал научные основы производства смазочных масел из мазута тяжелых кавказских нефтей.

1883 г. Н.П.Петров – разработал основы гидродинамической теории смазки.

1934 г. Б.В. Дерягин – развил представления о молекулярном механизме процессы внешнего трения, предложив свой вариант двучленного закона трения.

1939 г. А. М. Эртель – разработал основы гидродинамической теории смазки.

1962 г. Н.Б. Демкин – разработал учение о реальных площадях касания.

1965 г. Д.Н. Гаркунов и И.В. Крагельский – открыли эффект избирательного переноса, использование которого позволяет значительно улучшить фрикционно-износных характеристик некоторых пар трения при граничной смазке.

1976 г. Б.И. Костецкий и его ученики – в книге «Поверхностная прочность материалов при трении» обобщили работы по изучению процессов трения и поверхностного разрушения и по вопросам образования вторичных структур при трении в условиях граничной смазки.

Основные направления исследований в области трибологии

- **Структурные аспекты разрушения поверхности при трении.**

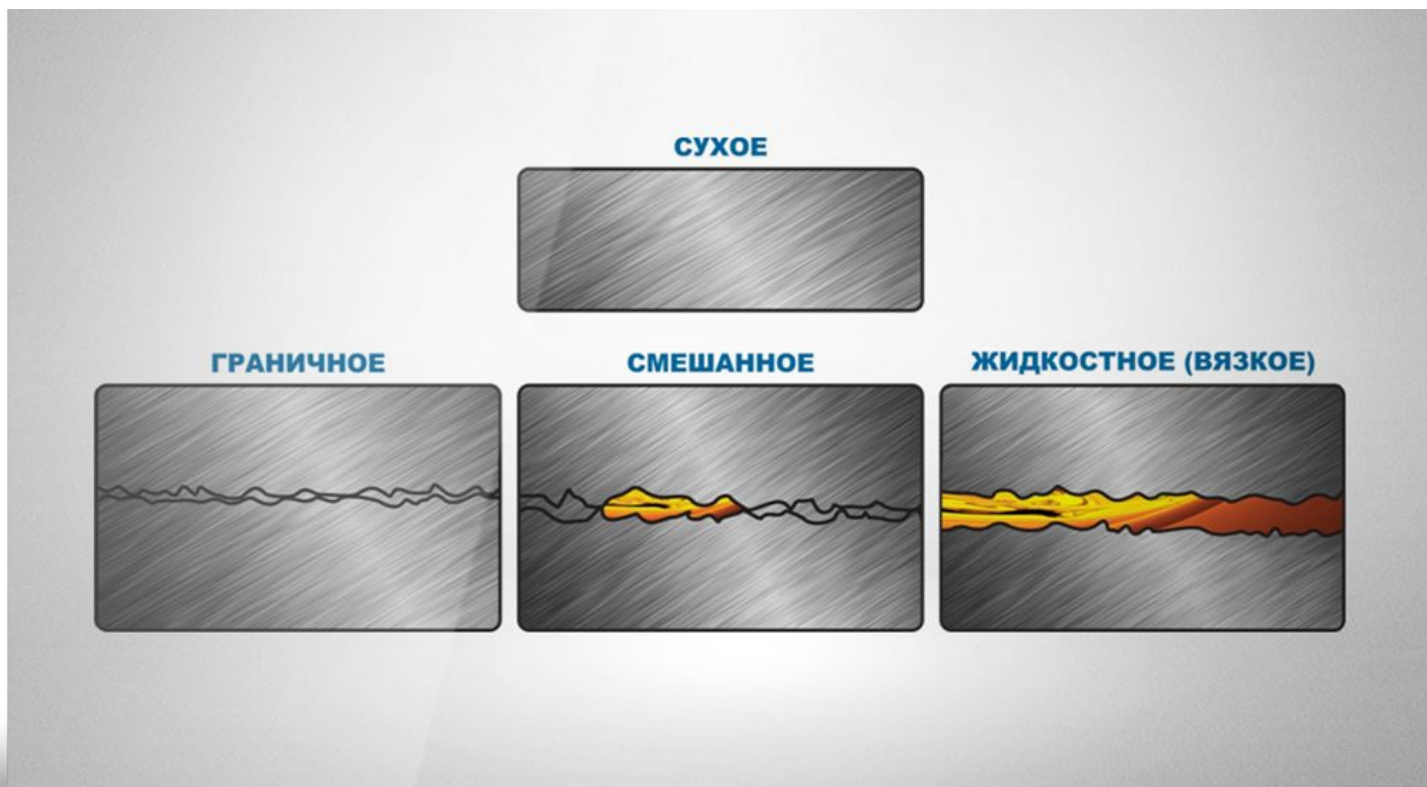
Исследования эволюции структуры приповерхностных объемов, приводящей к отделению частиц износа, которые сделают понимание процессов трения более полным.

- **Анализ возможных моделей процесса изнашивания.**

Чтобы предотвратить поверхностное разрушение при трении, необходимо знать причины отделения частиц износа.

- Изучение возможности прогнозирования износостойкости по стандартным характеристикам механических свойств и особенно по критериям вязкости разрушения (трещиностойкости).

Виды трения (по типу движения)



Виды трения (по типу взаимодействия)



2

без макроперемещения (по ГОСТ 27674-88)
трение двух тел при микроперемещениях
трение покоя



Основные понятия и законы трения

Уравнение Амонтова-Кулона

$$F = \mu * N \quad (1),$$

где F – сила трения скольжения;
 N – нормальное усилие.

Коэффициент трения μ - зависит от вида трущихся материалов и качества обработки их поверхностей.

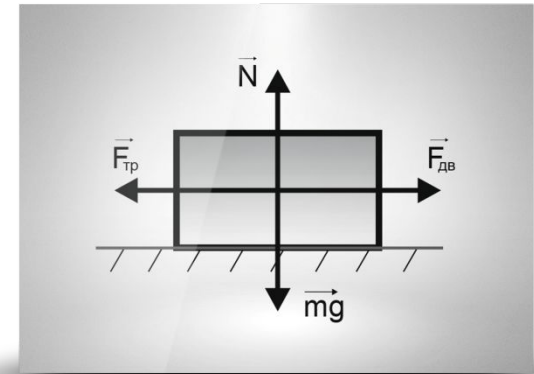
Для трения качения:

$$F_{\text{кач}} = \mu_{\text{кач}} * N / r \quad (2),$$

где $F_{\text{кач}}$ – сила трения качения;
 N – нормальное усилие;
 r – радиус колеса.

Обычно

$$\mu > \mu_{\text{кач}} \quad (3).$$



Виды трения:

- 1) Трение скольжения
- 2) Трение покоя
- 3) Трение качения

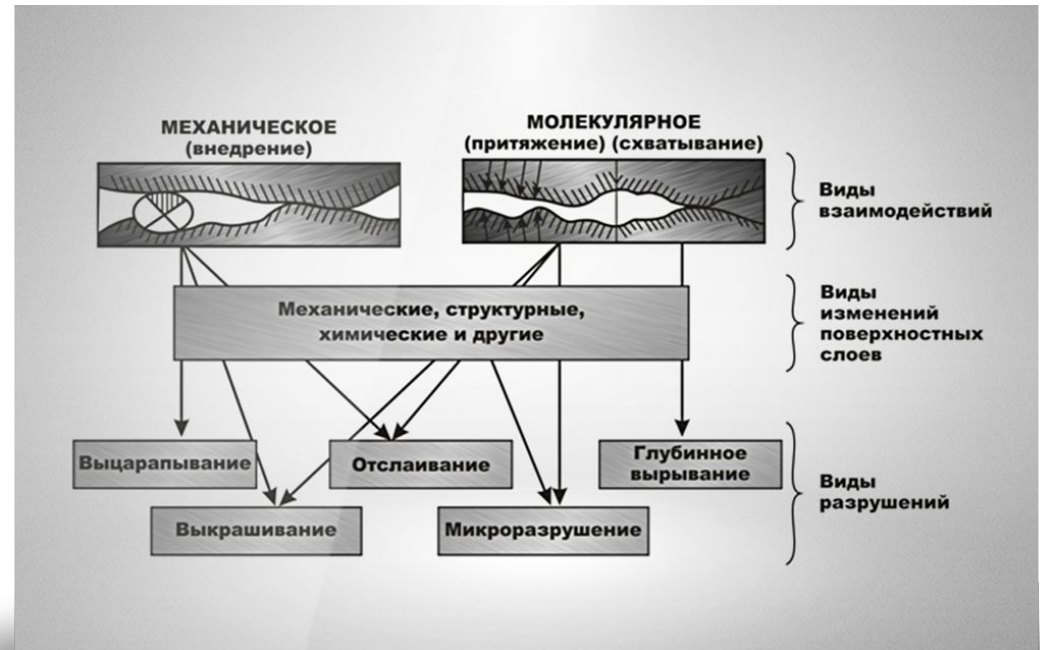


Молекулярно-механическая теория трения

$$F = F_A + F_\Delta \quad (4),$$

где F_A – молекулярная (адгезионная) сила трения,

F_Δ – механическая (деформационная) сила трения.



Классификация видов изнашивания при сухом и граничном трениях (по И.В. Крагельскому).

Изнашивание и его виды

Под **изнашиванием** мы понимается процесс образования различных необратимых изменений в материале деталей и в их защитных покрытиях в результате комплексного воздействия внешней среды и силовых факторов. ГОСТ 23.002-78 устанавливает 13 видов изнашивания:

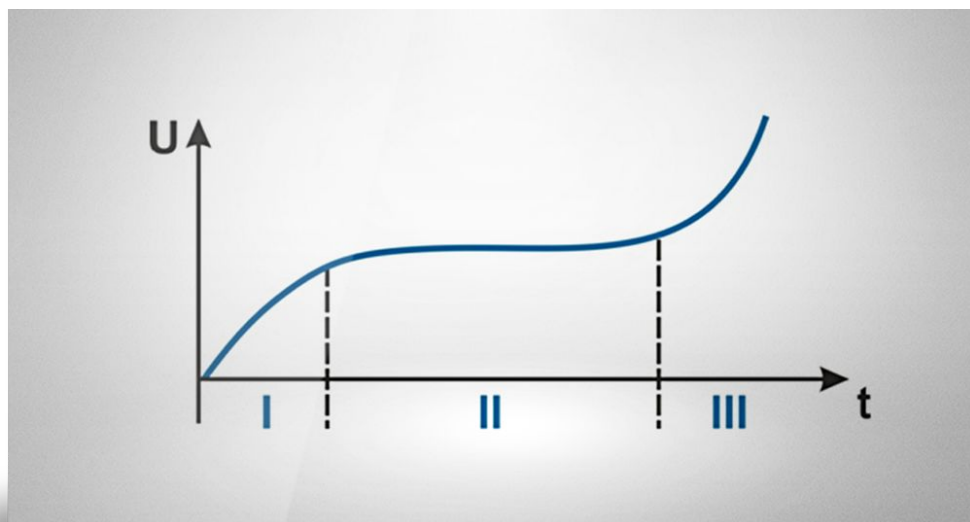
- Механическое
- Абразивное
- Окислительное, коррозия, коррозионно-механическое, фреттинг-коррозия
- Кавитационное
- Эрозионное
- Усталостное
- Заедание
- Пластическая деформация и др.



Изнашивание характеризуется величиной износа, скоростью и интенсивностью.

Зависимость износа от времени

Износ (естественный износ) это результат процесса изнашивания, который проявляется во внешних изменениях детали (форма, размеры, вид) и во внутренних изменениях, связанных со структурой материала детали и ухудшением механических свойств.



I - приработка; II - установившийся режим; III - катастрофический износ

Роль смазочного материала при трении

Действие смазочного материала, состоящее в уменьшении силы трения и износа называют **смазкой**.

Функции смазочного материала в механизмах современных машин следующие:

- 1) контроль трения, благодаря разделению движущихся поверхностей;
- 2) уменьшение износа;
- 3) температурный контроль, т.к. поглощает и переносит тепло;
- 4) защита деталей от коррозионного воздействия внешней среды;
- 5) удаление продуктов износа из зоны трения в фильтры/сепараторы.

$$F = \mu A v / h$$

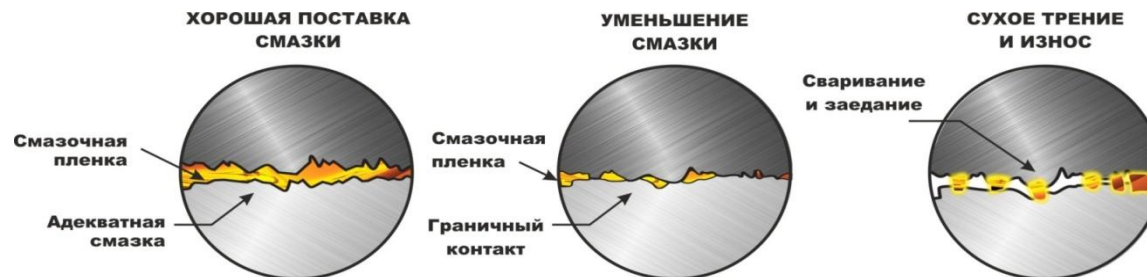
(5),

где F – сила трения скольжения,
 μ – динамическая вязкость смазочного материала,
 A – площадь поверхности скольжения,
 v – относительная скорость скольжения тел,
 h – толщина слоя смазочного материала.

Более **100 млн. т смазочных материалов** ежегодно расходуется в мире.



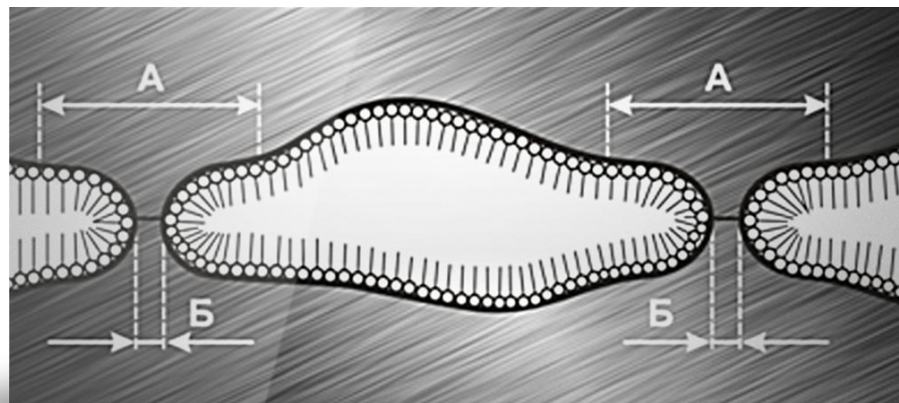
Роль смазочного материала при трении



- I – Граничная смазка
- II – Смешанный режим
- III – Гидродинамический режим



Смазка при граничном трении



Работоспособность граничного слоя масла не зависит от его вязкости, а определяется взаимодействием молекулярной пленки масла с трущейся поверхностью металла.

На толщину и прочность граничного слоя масла влияет:

- химический состав масла и входящих в него присадок,
- химическая структура деталей (например, баббитовые или алюминиевые вкладыши коленчатого вала),
- состояние поверхности трения (шлифование или суперфиниширование).



Наличие граничного слоя или пленки снижает силы трения по сравнению с трением без смазочного материала в 2-10 раз и уменьшает износ сопряженных поверхностей в сотни раз.

Типы молекулярных пленок масла

Адсорбированные

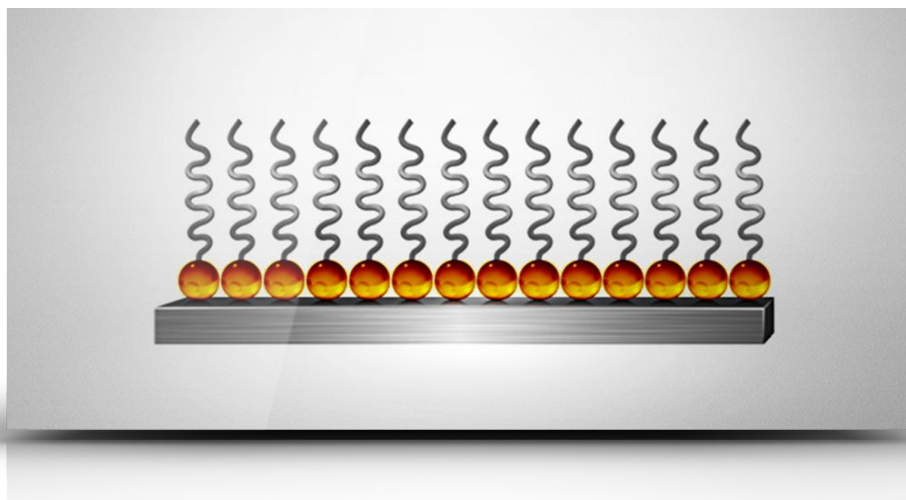


Имеют физическую природу.
Образуются благодаря наличию
в смазочных материалах
поверхностно - активных веществ (ПАВ),
несущих электрический заряд.

Хемосорбированные



Имеют химическую природу.
Образуются благодаря наличию
в смазочных материалах
соответствующих химических элементов:
фосфатов, хлоридов или сульфидов.



Смазка при жидкостном трении

Устойчивость смазочного слоя зависит от следующих факторов:

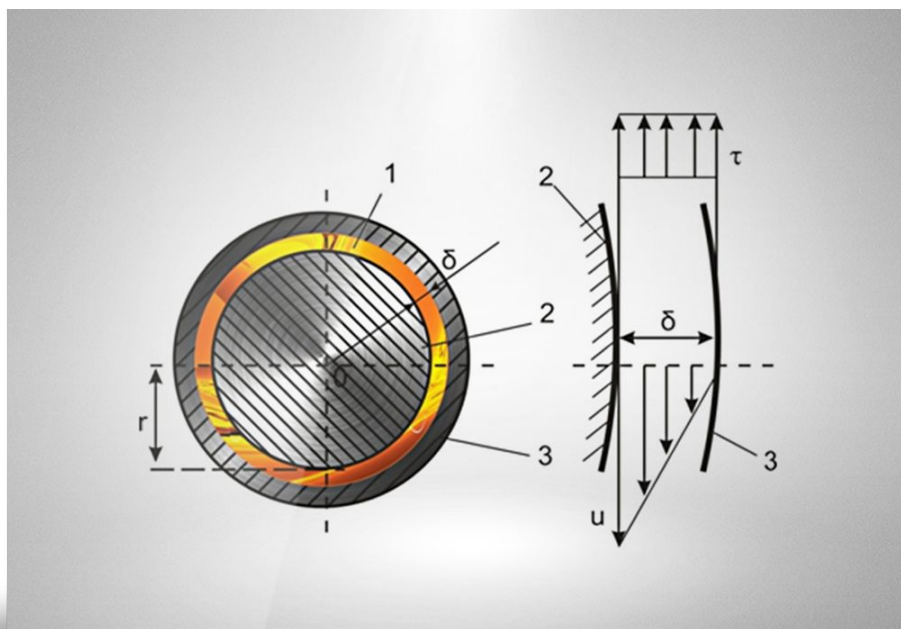
- конструкции узла трения;
- скорости взаимного перемещения трущихся поверхностей;
- величины и равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности;
- равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности; вязкости смазочного материала;
- площади трущихся поверхностей;
- величины зазора между трущимися поверхностями;
- температурного состояния узла трения и др.



Сила трения при жидкостном трении зависит только от трения внутренних слоев в смазочном материале, а коэффициент трения в 50-100 раз меньше, чем при трении без смазки.

Основы гидродинамической теории смазки

Гидродинамическая теория смазки занимается изучением гидравлических явлений, возникающих в смазочном слое при относительном движении двух твердых тел, разделенных этим слоем.



1 – слой смазочного материала,
2 – цапфа,
3 – подшипник,
 r – радиус цапфы,
 u – окружная скорость цапфы,
 δ – толщина зазора,
 τ – напряжение сдвига от
внутреннего трения при сдвиге
слоев жидкости

**Схема вращения цапфы в подшипнике
при соосном расположении.**

Основы гидродинамической теории смазки (продолжение)

Сила трения между цапфой и смазочным материалом

$$F = \tau S = \mu S \cdot du/dr = 2\pi r l \mu \cdot du/dr, \quad (6)$$

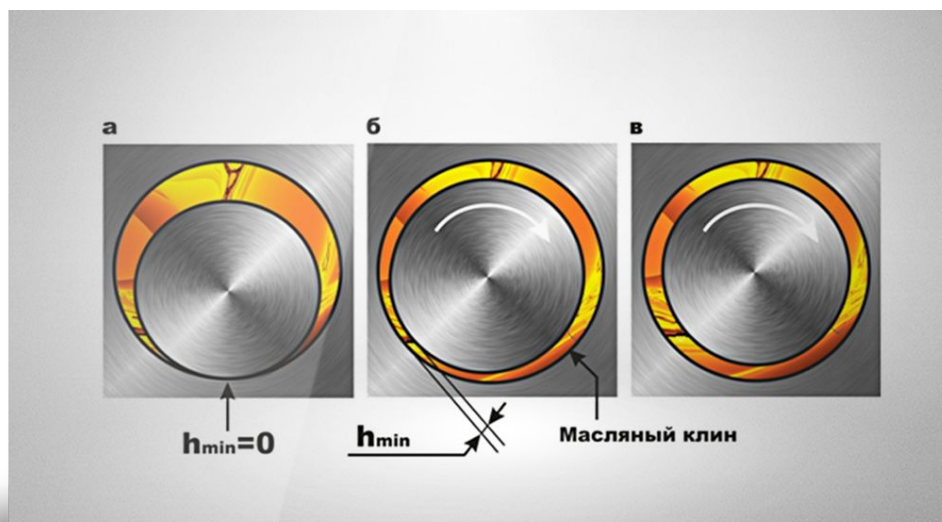
где $S = 2\pi r l$ - площадь поверхности цапфы.

Приняв, что скорость вращения частиц смазочного материала на толщине слоя δ линейно изменяется от u до нуля, можно определить градиент скорости как $du/dr = u/\delta$. Тогда

$$F = 2\pi r l \mu \cdot u/\delta. \quad (7)$$



Механизм образования масляного клина в подшипнике скольжения



а - двигатель не работает; б - момент пуска двигателя; в - работа двигателя (постоянное вращение коленчатого вала)

Минимальная толщина масляного слоя $h_{\min}$ зависит от:

- конструкции подшипника скольжения (наличия упорных буртиков, сальниковых уплотнений и других элементов),
- абсолютной вязкости масла,
- скорости перемещения трущихся поверхностей,
- величины давления на трущиеся поверхности.





ООО «Балтех»

Россия, г. Санкт-Петербург, 194044, ул. Чугунная, 40

Тел./факс: +7 (812) 335-00-85

e-mail: info@baltech.ru info@baltech.ru www.baltech.ru