

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.В. Колубаев

ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ

Содержание лекций

Введение в трибологию

- 1. Структура твердого тела и его поверхности**
- 2. Особенности контактирования твердых тел при трении**
- 3. Трение твердых тел**
- 4. Тепловые процессы при трении**
- 5. Эволюция структуры поверхностного слоя при трении**
- 6. Динамические процессы при трении**
- 7. Виды и характеристики изнашивания**
- 8. Методы повышения износостойкости деталей и узлов трения**
- 9. Особенности разрушения упрочненных слоев при трении**
- 10. Методы триботехнических испытаний**

Введение в трибологию

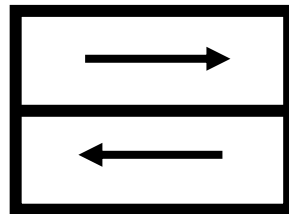
Трибология

перевод из греческого :

tribos (трение) + **logos** (Наука) = **Наука о трении**

Триботехника = техническое применение трибологии

Трение это механическое сопротивление двух поверхностей, движущихся относительно друг друга

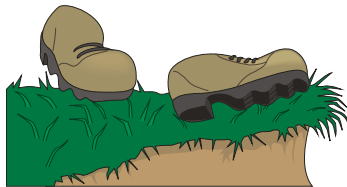


Обычно последствия трения негативны. С ним связана надежность и долговечность деталей машин и механизмов. Изнашивание, которое всегда имеет место при трении, приводит к нарушению геометрических размеров узлов, теряется точность взаимного расположения деталей и перемещений. Возникают заклинивания, удары, вибрации, приводящие к поломкам. Трение приводит к потерям энергии, перегреву механизмов, снижению передаваемых усилий, повышенному расходу горючего и других материалов. Для снижения трения и износа в год в мире расходуется более 100 млн. т. смазочных материалов (данные на конец 20 века). При смазке эти материалы подвергаются старению и подлежат замене. Отработанные смазочные материалы представляют серьезную опасность для окружающей среды.

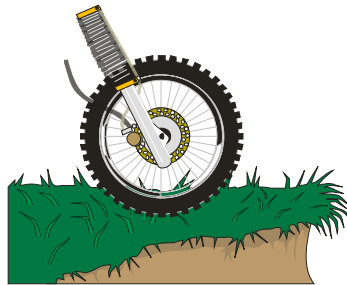
В то же время трение играет и положительную роль. Без трения невозможна работа многих механических передач, а работа фрикционных вариаторов, ременных передач, фрикционных тормозов и муфт сцепления целиком основана на использовании сил трения. Во всем мире идет борьба за увеличение коэффициента трения колесного транспорта с основанием (автострадой, рельсами), которое повышает тяговую способность и увеличивает эффективность торможения.

Трение желательно в:

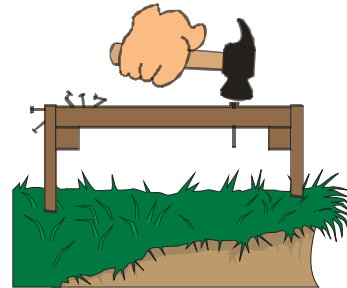
➤ *Приводной технике*



➤ *Тормозной технике*



➤ *Технике соединений*



Трение нежелательно при:

➤ *Затрате энергии*

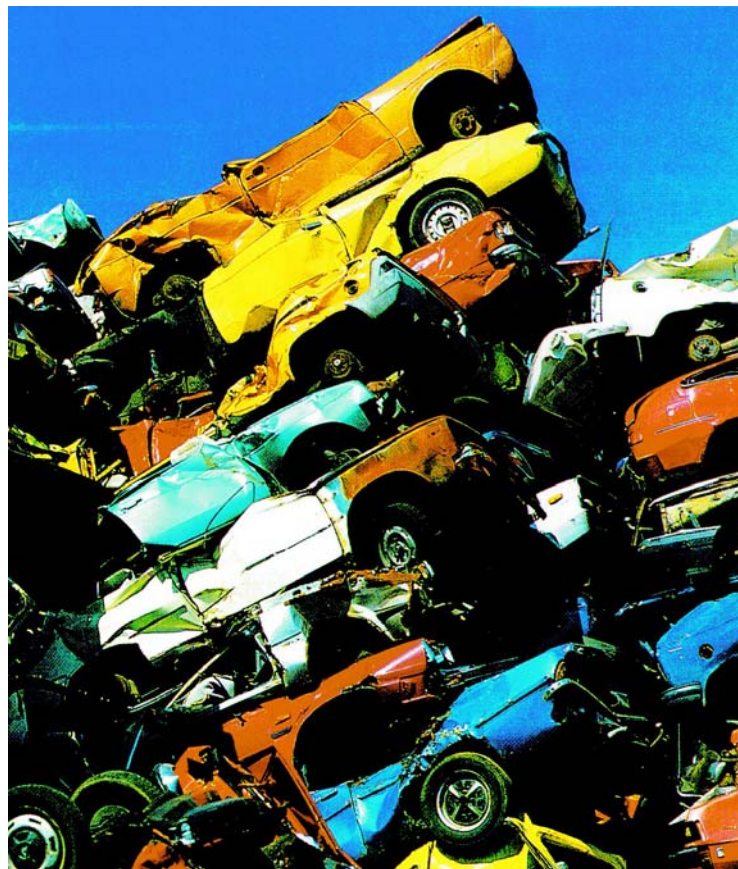
➤ *Потере энергии*

➤ *Теплоте трения*

➤ *Износе*



О важности проблемы трибологии говорят следующие цифры: потери на трение составляют до 30% потребляемой в мире энергии. Так, по самым последним данным Международного комитета по трибологии, экономия от использования достижений в области трибологии в Китае составляет ежегодно 41,5 миллиарда долларов США.



Расходы на устранение преждевременного износа машин достигают 2% валового национального продукта развитых в промышленном отношении стран

В результате износа понижается мощность двигателей внутреннего сгорания, на 25-30% повышается степень загрязнения среды выхлопными газами, увеличивается расход горюче-смазочных материалов, возрастает утечка масел, ядовитых и взрывоопасных продуктов через сальники и уплотнения, ухудшается управление транспортными машинами, снижается точность и чистота обработки изделий на металлорежущих станках, растягиваются сроки уборки урожая и т. д. Износ часто становится причиной

аварийных разрушений. Заедание деталей или их заклинивание нередко влечет за собой аварии и даже катастрофы.

Проблемы трибологии важны на железнодорожном транспорте, особенно для работы колеса и рельса, они всегда были и остаются острой проблемой в авиации, на автомобильном транспорте. Трибология играет решающую роль во многих технологических процессах. Она важна для работы считывающей головки и твердого диска компьютеров, для видео- и аудио-аппаратуры, для многих изделий военной техники. Трибология играет важную роль для конструирования, производства и эксплуатации оборудования для энергетики, газовой и нефтяной промышленности.

Важное гуманитарное значение имеют разработки, связанные с созданием искусственных органов человека, в которых проблемы трибологии играют первостепенную роль.

С трением человек сталкивается ежечасно и повсеместно. Это сложное и многообразное явление проявляется в простых случаях и простых действиях, поэтому наука издавна стремилась решать различные частные задачи трения с целью распространить это частное решение на все многообразие явлений трения. Вместе с практическими решениями (Рис. 1-3), касающимися трения, появились первичные научные работы по трибологии. Первые научные изыскания в области трения твердых тел обнаружены в работах Леонардо да Винчи, датируемых второй половиной XV века. В них гениальный ученый показал расчетом и экспериментом, что сопротивление трению пропорционально нагрузке, что тела с большей шероховатостью своей поверхности имеют большее сопротивление трению.



Рис.1. Применение масла для уменьшения силы трения при перемещении статуи

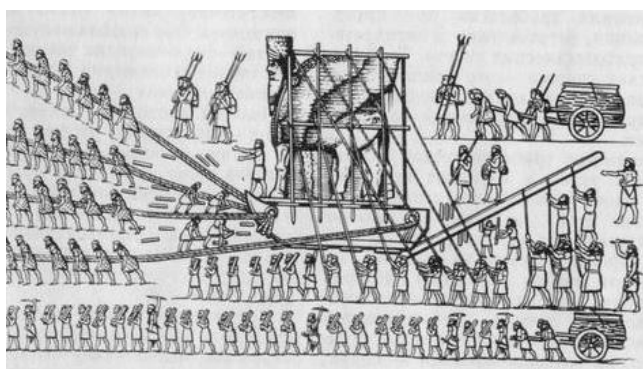
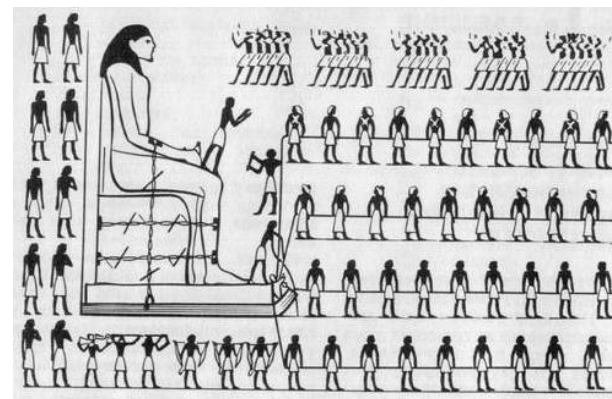


Рис.2. Применение бревен в качестве катков при перемещении статуи



Рис.3. Применение колеса

В течение многих лет выдвигались и обосновывались различные гипотезы и модели трения. Однако оказалось, что познать в известном смысле сложное и сверхсложное явление, каковым является трение, – это значит разумно упростить его, сохраняя все необходимые и достаточные факторы.

Анализ результатов исследований процессов трения, опыт эксплуатации трибологических систем позволил И.В. Крагельскому сформулировать и рассмотреть три последовательных и взаимосвязанных этапа процесса трения, а именно:

- взаимодействие поверхностей с учетом влияния среды (на рис. 4 изображено пять видов фрикционного взаимодействия);
- изменение микроструктуры поверхностных слоев в результате взаимодействия (рис. 5);
- разрушение поверхностей вследствие двух предыдущих этапов (рис. 6).

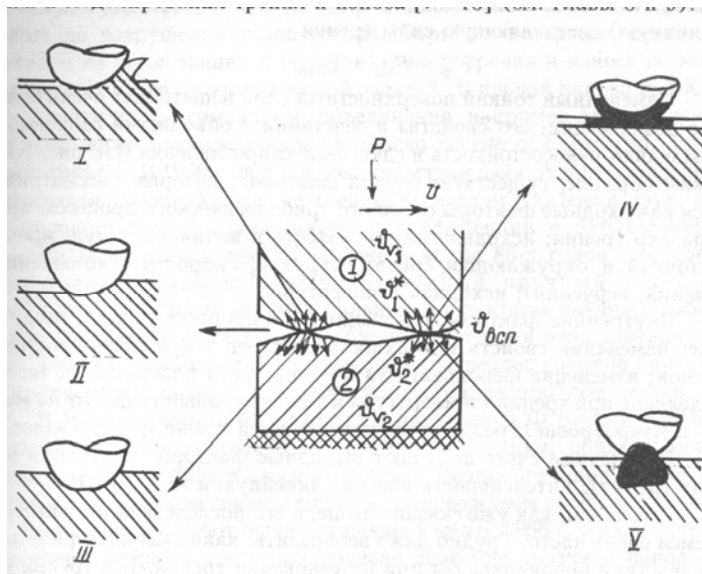


Рис. 4. Виды фрикционного взаимодействия:
 I – срез материала; II – пластическое оттеснение; III – упругое оттеснение; IV, V – схватывание

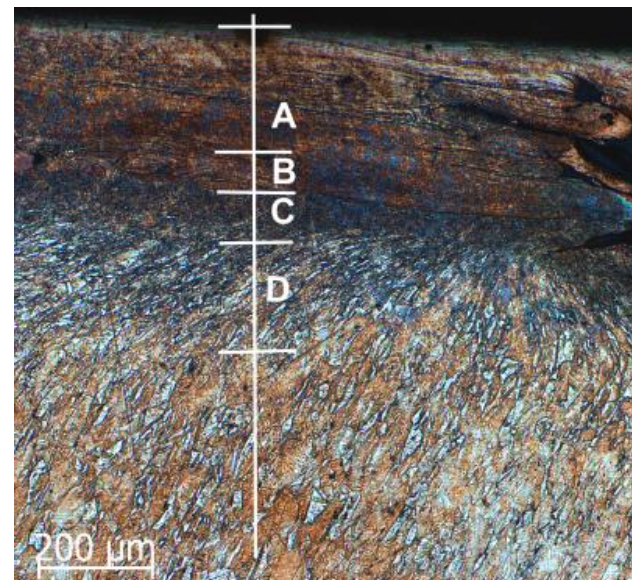


Рис.5. Микроструктура зон пластической деформации и реологического поведения на медном образце после трения в режиме: А – зона пластической деформации; В - зона фрагментации; С - зона турбулентного течения; D - зона вязкого течения нанокристаллического материала

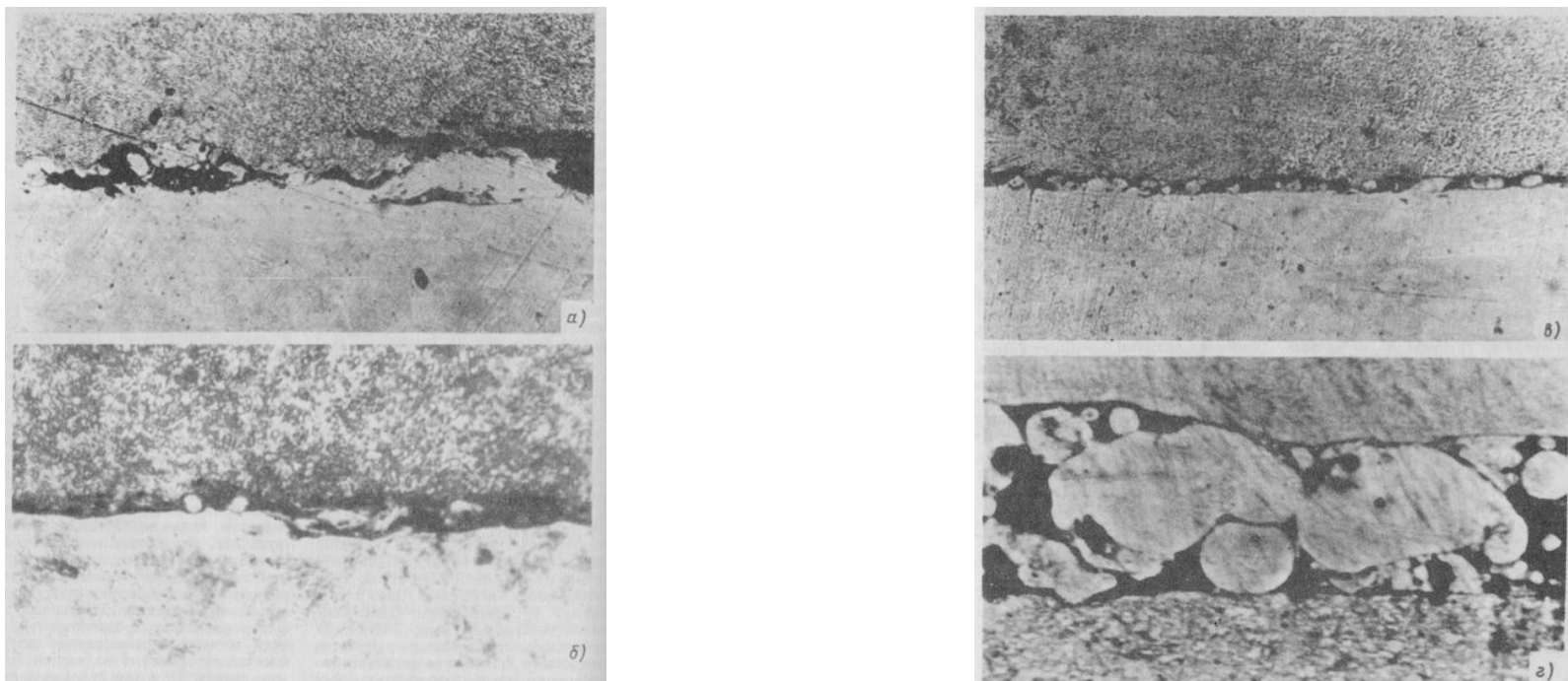


Рис. 6. Поперечное сечение двух сопряженных деталей узла трения. Видны разрушения поверхностей и образование частиц износа

В общем виде картина трения такова. Высокие фактические давления на дискретных пятнах касания в сочетании со скольжением обуславливают значительные температуры в зонах касания, приводят к существенным изменениям структуры поверхностного слоя материала, вызывают значительные механические и температурные напряжения в микро- и макро объемах, способствуют протеканию химических процессов с образованием вторичных соединений и структур, активизируют взаимную диффузию.

Измененный тонкий поверхностный слой испытывает очень большие деформации, его свойства в сочетании с объемными свойствами определяют износостойкость и сдвиговые сопротивления (см. рис. 4). Таким образом, существует группа факторов, которые рассматриваются как входные факторы сложного трибологического процесса: природа пар трения; исходная шероховатость и волнистость тел; промежуточная и окружающая среда; нагрузка; скорость (скольжения, качения, вращения); исходная температура.

Внутренние факторы, создающиеся в процессе трения, следующие: изменение свойств поверхностных слоев тел и поверхностных пленок; изменение шероховатости и волнистости поверхности; тепловыделение при трении (температура и температурный градиент на микро- и макроуровне); разрушение поверхностей в зоне трения (износ).

В конечном счете, получают выходные факторы: силу (или момент трения); интенсивность износа (линейную и массовую) (рис. 7).

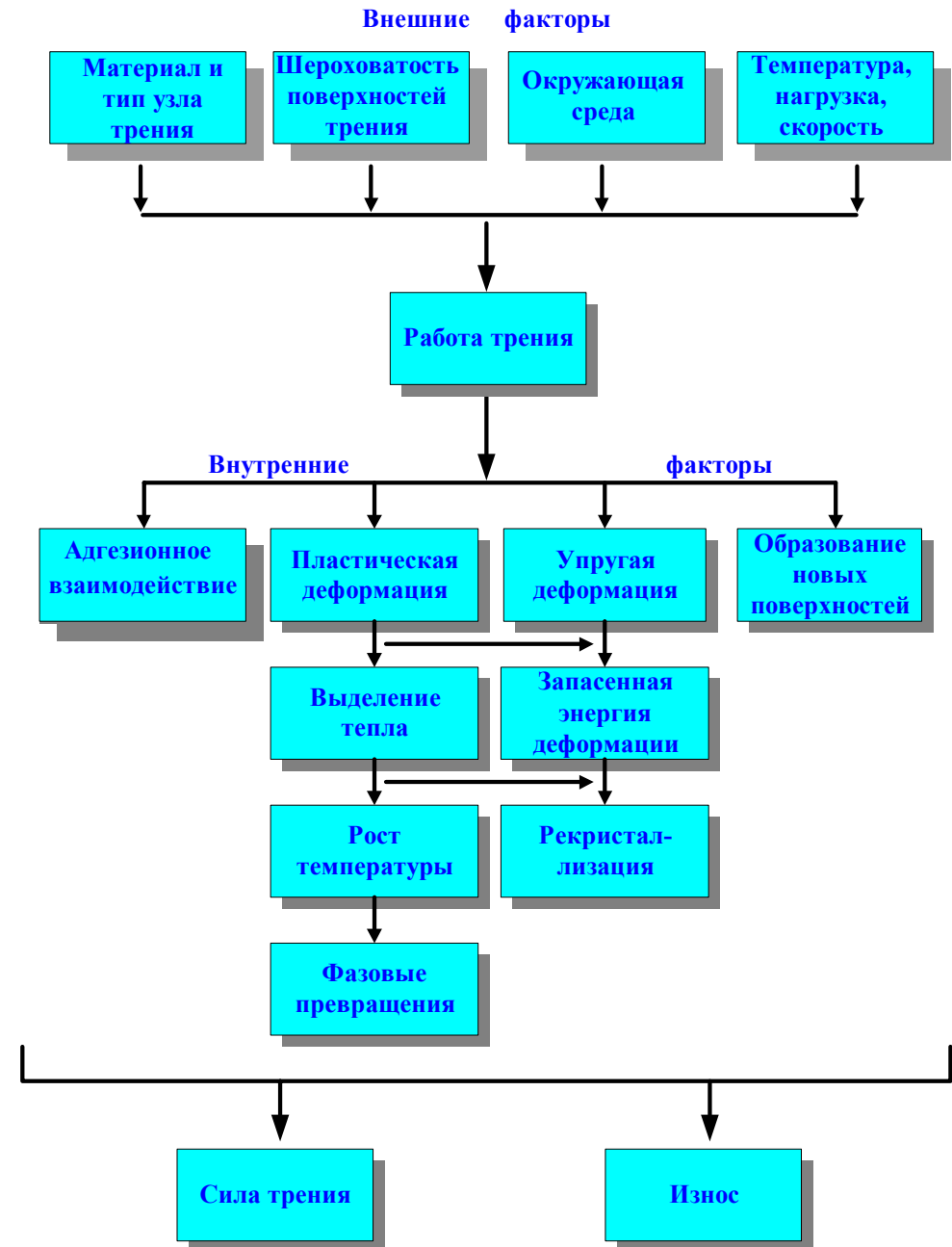
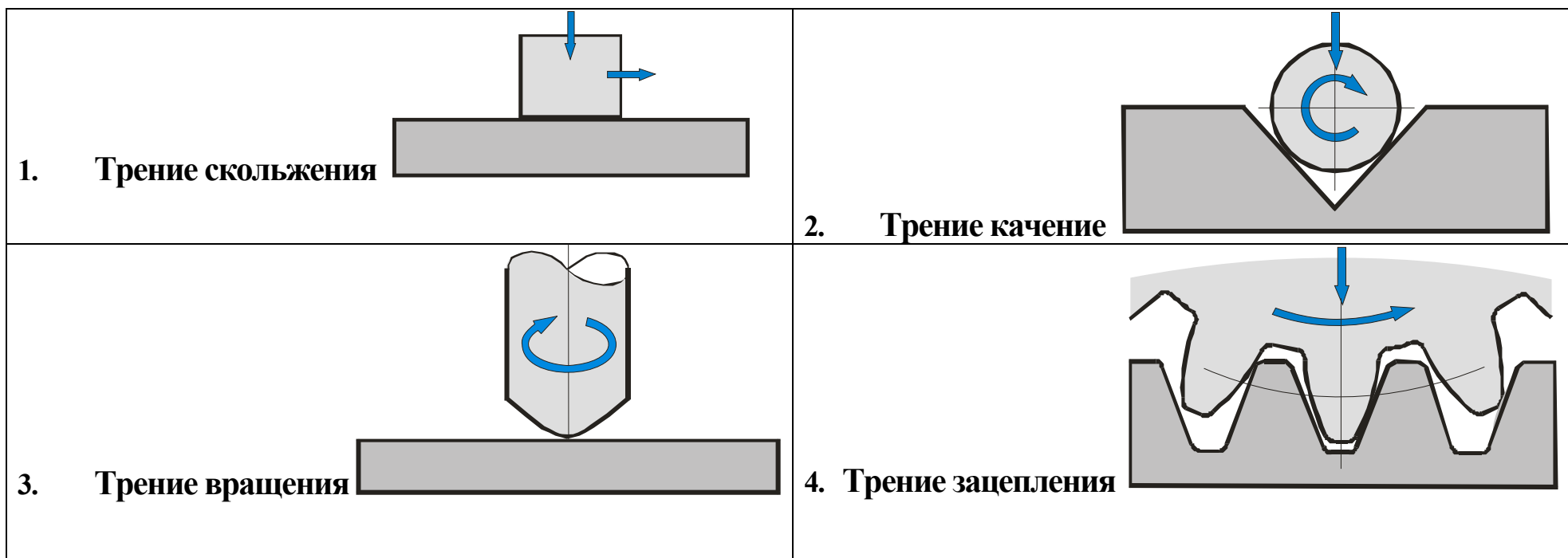


Рис. 7. Группы факторов, определяющие силу трения и износ

Виды трения



В 1964 г. министр образования и науки лорд Ф.Боуден признал необходимым проанализировать состояние техники, образования и исследований в области трения в Великобритании. Была создана рабочая группа специалистов под руководством проф. Н. П. Джоста. Результаты ее работ были оглашены в марте 1966 г. в виде отчета, в котором впервые в истории оценено значение смазки в узлах трения.

По оценкам этого отчета путем улучшения смазочного хозяйства Великобритания могла снизить потери и получить прибыль в полмиллиарда фунтов стерлингов в год. Было отмечено, что причиной столь значительных потерь являлся низкий уровень теоретических и практических знаний и отсутствие специалистов в области трибологии. Было предложено организовать изучение трибологии на всех уровнях. Рабочая группа рекомендовала кроме решения вопросов обучения создать специальные институты, занимающиеся

трибологическими исследованиями, изменить статус техников и инженеров-смазчиков, повысить оплату, ввести более высокие квалификационные группы и звание триболога.

В России основы науки о трении и изнашивании были заложены в период организации Российской академии наук. Великий ученый М. В. Ломоносов (1711 г. – 1765 г.) сконструировал прибор для исследования сцеплений между частицами тел «долгим стиранием», который явился прототипом современных приборов для определения износостойкости материалов. М. В. Ломоносов является основоположником теории изнашивания материалов и экспериментальных исследований в этой области, он связал понятие о прочности с представлениями о силах связи между частицами. Занимаясь подбором материалов для опор часовых механизмов, М. В. Ломоносов указал на целесообразность применения для этой цели стекла.

Крупный вклад в науку о трении внес Л. Эйлер (1707 г. – 1783 г.). Выведенные им зависимости о трении гибкой нерастяжимой нити, перекинутой через шкив, до сих пор применяют во всем мире при расчете сил трения в элементах с гибкой связью.

Мировую известность получили работы Н. П. Петрова по теории смазки подшипников. Над проблемой смазки работали Н. Е. Жуковский и С. А. Чаплыгин, математически разработавшие вопрос о теории смазочного слоя (за границей над гидродинамической теорией смазки работали О. Рейнольдс, А. Кингсбери, Герси и др.).

Следует отметить, что в 1880-1881 годах Д. И. Менделеев разработал научные основы производства смазочных масел из мазута тяжелых кавказских нефтей.

Новым этапом в развитии гидродинамической теории смазки является эластогидродинамика, изучающая движение жидкости в зазоре с учетом упругих деформаций твердых тел, между которыми происходит это движение. Теория родилась в нашей стране в 1939 г. (А. М. Эртель) и получила дальнейшее развитие как у нас (А. Н. Грубин, 1947; А. И. Петрусевич, 1951; Д. С. Коднир, 1963), так и в Англии (Д. Доусон, 1966). Сейчас приложение этой теории расширилось в связи с применением подшипников из материалов с низким модулем упругости (полимеры, резина). В ряде случаев эластичные подшипники оказались значительно эффективнее обычных жестких подшипников. Это

позволило предложить специальные конструкции опор с подрессоренными элементами, искусственные упругие материалы для опор. Недавно А. Ф. Аксеновым и А. М. Мхитаряном (1970) выполнены интересные работы по развитию гидродинамической теории смазки

В период развития индустрии в России широко развернулись работы в области триботехники. Большое влияние на развитие представлений о молекулярном механизме процессы внешнего трения оказали работы Б. В. Дерягина, предложившего в 1934 году свой вариант двучленного закона трения. Теория Б. В. Дерягина оказала большое влияние на все последующие попытки создания теории в любой современной теории по трибологии.

Первый обзор о развитии учения о трении и изнашивании в нашей стране был выполнен в 1947 году профессором Ленинградского политехнического института А. К. Зайцевым в книге «Основы учения о трении, износе и смазке машин». В 1956 году И. В. Крагельский и В. С. Щедров опубликовали монографию «Развитие науки о трении», в которой отмечают, что трение представляет собой сложную совокупность многих физических явлений, и раскрывают путь развития научной мысли в этом направлении с XVI века до 40-х годов XX столетия. Монография о трении без смазочного материала написана указанными авторами по первоисточникам с глубоким анализом русских и зарубежных работ и получила признание во многих странах.

В 1957 году в сборнике «Теоретические основы конструирования машин» М. М. Хрущев дал обзор о «Развитии учения об износостойкости деталей машин», в котором последовательно изложил развитие работ в области износостойкости по отдельным наиболее разработанным вопросам: развития представлений о причинах и процессах изнашивания: исследование влияния шероховатости обработанной поверхности деталей машин на износ металлов; исследование абразивного изнашивания и изнашивания при схватывании; методы испытания на изнашивание; антифрикционные материалы и методы расчета деталей машин на износ.

Весьма перспективна возможность значительного улучшения фрикционно-износных характеристик некоторых пар трения при граничной смазке за счет реализации эффекта избирательного переноса, открытого Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским в 1965 году. Следует отметить еще две работы

отечественных трибологов, также удостоенных дипломами за открытия: эффекта аномально низкого трения при бомбардировке ядрами гелия некоторых материалов (А. А. Силин, М. А. Тальрозе, Е. А. Духовский и др.) и явления водородного изнашивания (А. А. Поляков, Д. Н. Гаркунов).

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

Значимость этого вида трения в новой технике весьма велика, так как для машин, работающих в жестких условиях, не удастся обеспечить устойчивости гидродинамического трения. Известно, что при граничном трении возникает интенсивный износ и задиры, однако этот вопрос изучен далеко недостаточно. За последнее десятилетие разработка проблемы граничного трения существенно продвинулась вперед. Этому, в частности, способствовало развитие учения о реальных площадях касания твердых тел (с учетом их шероховатости и волнистости), что позволило ввести в теорию понятие об удельной силе трения, которое является здесь столь же существенным, как и понятие напряжения (нагрузка на единицу площади) в учении о прочности материалов. Учение о реальных площадях касания, возникшее в Институте машиноведения, было развито Н. Б. Демкиным (1962). Оно оказалось полезным не только для задач трибологии, но также для расчета электропроводности контактов, теплопроводности и жесткости стыков (Э. В. Рыжов, 1966). Исследования показали, что наиболее важной характеристикой является отношение высоты единичной неровности к ее радиусу (а отнюдь не сама высота таких неровностей).

Развитие работ в этой области позволило уточнить представления о природе внешнего трения.

В настоящее время трибология признана всеми. Как отдельный предмет она преподается во многих высших и средних учебных заведениях и на курсах повышения квалификации в развитых странах. Созданы специализированные исследовательские центры, во многих институтах трибология является одним из важнейших направлений исследований.

Трибология рассматривает научные аспекты трения, износа и смазки в машинах. Прикладными задачами по повышению износостойкости и управлению трением за счет применения новых конструкций узлов, материалов и эксплуатационных приемов занимается триботехника.

Трибология – это наука о трении и процессах, сопровождающих трение. Название этой научной дисциплины образовано от греческих слов «трибос» - трение и «логос» - наука. Трибология, как научная дисциплина, охватывает экспериментальные и теоретические исследования физических, химических, биологических и других явлений, связанных с трением.

Трибология изучает внешнее и внутреннее трение твердых и жидких тел, учитывая их износ. Она рассматривает протекание процессов, связывающих воедино макро- и микропластическую деформации, квазиупругое взаимодействие контактирующих поверхностей, внутреннее и внешнее трение, схватывание за временные промежутки - значительно меньшие, чем позволяет диффузия, поверхностные волны, возбуждаемые ударными воздействиями, автоколебания и многие другие явления.

Триботехника – это упорядоченные знания о практическом применении трибологии. Трению всегда сопутствуют процессы трибологического изнашивания. Поэтому управление процессами трения и использование законов трения и изнашивания на практике являются главными задачами триботехники.

Триботехника – техническая наука, которая использует представления трибологии при проектировании, изготовлении, испытании и эксплуатации трибологических систем.

Отметим основные **направления исследований** в области трибологии и триботехники, которые сложились к настоящему времени.

Первое из них - структурные аспекты разрушения поверхности при трении. Исследования эволюции структуры приповерхностных объемов, приводящей к отделению частиц износа, которые сделают понимание процессов трения более полным.

Вторым направлением исследований является анализ возможных моделей процесса изнашивания, поскольку для предотвращения поверхностного разрушения при трении необходимо знать причины отделения частиц износа.

Третье - заключается в изучении возможности прогнозирования износостойкости по стандартным характеристикам механических свойств и особенно по критериям вязкости разрушения (трещиностойкости).

Эти направления исследований составляют основу для разработки новых материалов и упрочняющих технологий (включая поверхностные) для узлов и деталей, работающих в условиях трения и износа.