**ГЛАВА 3. ТРЕНИЕ – РАЗДЕЛ МЕХАНИКИ. РАЗВИТИЕ НАУКИ О ТРЕНИИ**

Трение – удивительный феномен природы! Оно подарило человечеству тепло и огонь, возможность в короткое время остановить скоростной поезд и автомобиль, ускорить химическую реакцию в сто тысяч раз, записать человеческий голос на пластинку, услышать звуки скрипки и многое другое.

1883 году знаменитый русский инженер и ученый Н. П. Петров писал: «Силу трения можно замечать всегда и повсюду, и ее надо поставить в ряду могущественнейших способов, при посредстве которых природа превращает один вид энергии в другой, мало-помалу заменяя их тепловыми. Эта сила обнаруживает свое влияние в самых разнообразных явлениях природы, возбуждая живой интерес ученых самых разнообразных направлений. Знание законов трения необходимо и астроному, и физику, и физиологу, и технику». Это высказывание одного из крупнейших инженеров конца XIX века необычайно ясно показывает исключительную важность трибологии – науки о трении и процессах, его сопровождающих.

Доисторическая эпоха (до 3500 года до н.э.). Человек начал сталкиваться с проблемами, изучаемыми трибологией (наукой о трении), еще на заре своего существования, задолго до того, как он, пытливо вглядываясь в окружающий мир, стал использовать известные ему из повседневного опыта факты для того, чтобы облегчить свою жизнь. В борьбе за существование человек постепенно приобретает новые знания и умения – в том числе в области трибологии, объем которых медленно, но непрерывно увеличивается. Уже в эпоху палеолита человек научился добывать огонь трением, что впервые доставило ему возможность хоть в чем-то не зависеть от стихийных сил природы и тем окончательно отделило человека от животного мира. Это открытие и вызванная им важнейшая хозяйственная революция произвели на людей такое колоссальное впечатление, что его отголоски донеслись до нашего времени. Получение огня при помощи трения осуществлялось у разных народов различными методами: высверливанием, высеканием. Они были основаны на том, что концом твердой палочки быстро терли (вращательно или поступательно) по небольшому участку поверхности куска дерева, обеспечивая фрикционный разогрев легковоспламеняемого материала до температуры его возгорания. Высекая огонь ударами камня о камень (много позже – камня о железное кресало), человек также преобразовывал работу трения в теплоту, обеспечивающую воспламенение трута.

Дальнейшее неосознанное использование человеком еще не известных ему законов трибологии продолжалось в эпоху мезолита, а затем и неолита. Сверление применяли уже не только для добывания огня, но и для изготовления орудий. Между X и IV тысячелетиями до н. э. при перетаскивании тяжелых блоков использовали цилиндрические катки. Появились первые ручные мельницы – два отшлифованных камня, между которыми растираются зерна. Большую роль в дальнейшем прогрессе человечества сыграли приспособления, реализующие вращательное движение. Прежде всего – это гончарный круг (сначала – ручной, затем ножной), при помощи которого можно было производить глиняную посуду более правильной формы и с большей производительностью труда. Такое приспособление, появившееся на Древнем Востоке в конце IV – начале III тысячелетия до н. э., а в Европе – в X—IX веке до н. э., требует использования подшипникового узла, обеспечивающего достаточно низкое трение. Строительство жилищ, снабженных дверью, потребовало создания дверных петель. Их заменяли выемками в деревянных или каменных порогах, в гнезда которых вставлялись прикрепленные к двери штыри. Деревянные пороги с такими гнездами были найдены в жилищах эпохи неолита в Центральной Европе, а каменные пороги с гнездами применялись в ассирийских деревнях 6—7 тыс. лет назад. 7 тысяч лет назад в Скандинавии появились лыжи, позволившие передвигаться по снегу с малыми потерями на трение.

В эпоху ранних цивилизаций уровень трибологических знаний растет, и это отражается на прогрессе техники. Более осознанное понимание преимущества трения качения перед трением скольжения при перемещении грузов приводит к изобретению колеса и созданию колесных экипажей, о чем свидетельствуют многочисленные археологические находки. В IV—III тысячелетиях до н. э. в Двуречье появились первые колесные повозки, а с начала III тысячелетия до н.э. появились даже специальные обозначения для грузовых и боевых повозок (рис. 3.1, 3.2).

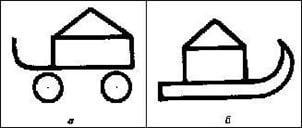


Рисунок 3.1. Повозка (a) и сани (б) – пиктограммы

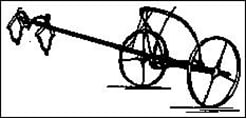
из Урука, 3000 г. до н. э.

Рисунок 3.2. Египетская колесница времени

Нового царства, XV—XIV в. до н. э.

Музей во Флоренции

Позднее (в начале I тысячелетия до н. э.) появляются блоки, ставшие важным элементом подъемных механизмов. По истине шедевром античной технической мысли было использование возможностей трения качения по сравнению с трением скольжения при транспортировке гигантских колонн храма Артемиды Эфесской в VI веке д. н. э. Для того чтобы протащить их по заболоченной местности, архитектор Херсифрон просверлил в торцах колонн отверстия, вставил в них штыри, служащие осями колонн. Эти оси были установлены в подшипниках, представляющих собой металлические втулки, заделанные в деревянную раму, ставшую, таким образом, корпусом, в котором был смонтирован каток, т.е. колонна.

Существует несколько оставшихся изображений (рисунков) подшипников скольжения. Например, каменный карман для нижней оси двери храма (Ассирия, приблизительно 2500 лет д. н. э.) (рис. 3.3), колеса, ободы которых ошипованы медными гвоздями для уменьшения износа (рис.3.4).

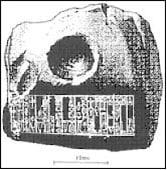


Рисунок 3.3. Каменный карман

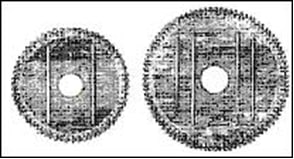
для нижней оси двери храма 

Рисунок 3.4. Колеса, шипованные

медными гвоздями

Греко-римская эпоха (900 г. д. н.э. – 400 н.э.) Александрийский механик Ктесибий (II—I вв. до н. э.) изобрел двухцилиндровый пожарный насос, который в принципе не отличается от современного насоса. Поршни этого насоса предварительно смазывались маслом. Величайший механик древности Архимед из Сиракуз (287-212 г. до н. э.) создал огромное количество машин с самыми разнообразными узлами трения. В частности, он изобрел винт, который быстро нашел применение в винтовых прессах для оливкового масла, создал винтовой насос, применяемый для ирригации полей и выкачивания воды из рудников и трюмов кораблей. Он создал большое количество военных машин, которые, несомненно, включали узлы трения самого различного назначения. Часть из этих узлов, прежде всего подшипниковых, скорее всего также смазывалась. Подшипники со сменными металлическими вкладышами широко применялись в Древней Греции и Риме в устройствах самого различного назначения. Еще раньше появилось представление о трибоэлектричестве: явление электризации янтаря при натирании его тканью описал один из семи мудрецов Эллады Фалес из Милета (около 625-547 г. до н. э.).

Следует иметь в виду, что великий Аристотель (384-322 г. до н. э.) знал о существовании трения как сопротивления среды относительному перемещению тел и отмечал, что оно много меньше для круглых катящихся тел, чем для плоских скользящих тел. В то же время Аристотель не отличал сопротивление движению тел, вызываемое их инерцией, от сопротивления, вызываемого собственно трением. Тело движется под действием постоянно действующей силы с постоянной скоростью. Сопротивление среды Аристотель считал зависящим от веса тела. При уменьшении веса скорость движения возрастает. То же самое происходит, если дорога становится более ровной. Несомненно, представления Аристотеля о сопротивлении среды перемещению тел оказали огромное влияние на всех последующих ученых вплоть до Галилея. Знаменитый римский инженер и архитектор Марк Витрувий Поллион (2-я половина I в. до н. э.) в трактате «Десять книг об архитектуре», созданном в промежутке между 22 и 14 г. до н. э. и в течение полутора тысячелетий бывшем настольной книгой инженеров многих поколений, описал деревянный роликовый подшипник, который использовался в стенобитных орудиях, применяемых еще во времена Александра Македонского. Ролики, по-видимому, вытачивались на токарном станке, а каждый элемент качения имел собственную ось, которая фиксировалась в корпусе подпятника. Первое систематическое описание зубчатых передач в машинах того времени также было сделано Витрувием. Любопытно, что Витрувий характеризует машину как «сочетание соединенных вместе деревянных частей, обладающее огромными силами для передвижения тяжестей». В то же время, по его словам: «Ось изготавливается на токарном станке или, по крайней мере, делается круглой от руки, на ее концы надевают железные обручи; вокруг средней части установлен барабан, образованный подогнанными планками. Ось лежит на опорах, покрытых железом в местах, где они касаются оси».

Все применявшиеся тогда методы сводились к усовершенствованию конструкции подшипников скольжения и снижению сопротивления трения скольжения. Подшипники скольжения смазывались. Совершенствовались смазывающие свойства масел путем установления такой консистенции и адгезии, чтобы смазочный материал долгое время находился в зоне трения. Растительные маслá имеют малую вязкость, и поэтому, стекая, они недолго смазывают зоны трения скольжения, кроме того, они быстро высыхают. В связи с этим их стали сгущать и постепенно заменять животными жирами.

Существуют описания производства битума и легкого масла из сырой нефти. Для установки поршней в водяные насосы наносились тонкие масляные пленки для облегчения этого процесса.

Оси повозок смазывали также разного рода мазями из древесной смолы. Такие мази получали и из «выкипяченной» долгим нагреванием нефти. Это подтверждается результатами археологических исследований гробниц древних правителей, в которых на осях их колесниц найдены остатки смазки из животных жиров, сгущенных минеральными присадками. Температура плавления этих веществ около 50°С. В архивах имеется перечень растительных масел и животных жиров, использовавшихся для смазывания, составленный Плинием-старшим (23-73 гг. нашей эры).

Средневековая эпоха (400 г. н.э. – 1450 г.) В течение этого долгого периода времени едва ли произошли какие-либо усовершенствования элементов машин. Эта эпоха может характеризоваться как период стагнации.

Эпоха Возрождения (1450-1600 гг.) Талантливый человек во всем талантлив, но лишь немногие гении были гениальны во всем, что бы они ни делали, и, пожалуй, за всю историю человечества только один человек – Леонардо да Винчи (рис. 3.5) заслуживает звания абсолютно универсального гения. Как художник, скульптор и инженер он превосходил своих современников. Как ученый он обогнал свою эпоху на века.



Рисунок 3.5. Леонардо да Винчи (1452-1519 г.г.)

Новых смазочных материалов не создавалось, но Леонардо да Винчи обнаружил, что трение может быть уменьшено применением доступных растительных и животных масел. Сначала смазывание было разовым или периодическим, потом появились масляные ванны для смазывания колец.

Леонардо да Винчи занимался многими вопросами деталей машин, трения и износа. В процессе своих исследований он обнаружил, что существует соотношение между нагрузкой и силой трения. Он также определил первые законы сухого трения, суть которых в следующем:

- сила трения прямо пропорциональна нагрузке.

- сила трения не зависит от видимой (номинальной) площади контакта.

- сила трения не зависит от скорости скольжения.

- применяя эти результаты, он установил:

- преимущества качения перед скольжением.

- преимущества линейного/точечного контакта перед контактом по площади.

Преимущества обеспечения расстояния между телами качения в подшипниках качения.

Вместе с практическими решениями, касающимися трения, появились первые научные работы по трибологии. Первые научные рассуждения на тему трения твердых тел обнаружены в записях Леонардо да Винчи, датируемых второй половиной XV в., в них много правильных утверждений, подкрепленных расчетами, например, указано на пропорциональность сопротивления трения нагрузке на трущиеся поверхности тел и на то, что тела с шероховатой поверхностью имеют большее сопротивление трения. Таким образом, закон, согласно которому сила трения прямо пропорциональна нагрузке, был открыт Леонардо да Винчи, считавшим, что коэффициент трения обычно равен 0,25.

Работы Леонардо да Винчи были забыты, и трением снова стали интересоваться в рамках развития других наук спустя почти два столетия.

В странах Западной Европы уже в XVI веке начались крупные социально-экономические преобразования. Капиталистический способ производства получал все большее распространение, что, естественно, стимулировало технический прогресс, повышение уровня технологических знаний. Появляются многие яркие изобретения, строятся крупные мануфактуры, оснащенные достаточно совершенными для своего времени станками. Инженеры нуждались в осмыслении имеющегося опыта, чтобы создавать новую, более совершенную технику. Крупные ученые, творившие в ту эпоху, в борьбе с отжившей схоластикой Средневековья, отстаивали эксперимент как путь познания истины.

Гениальный Галилео Галилей (1564-1642) уже на рубеже XVI-XVII веков закладывает основы опытного естествознания. Фрэнсис Бэкон (1561-1626) обосновывает необходимость познания мира через опыт, обобщение результатов опыта и проверку выводов на практике.

Следуя за Бэконом в решении практических проблем, ученые обратили внимание на трение. Так, один из крупнейших английских ученых XVII века Роберт Гук (1635-1703), анализируя работу зубчатых зацеплений, выдвинул требование, чтобы между зубьями не было трения (имеется в виду, по-видимому, трение скольжения). В 1694 г. французский физик и математик Филипп де ля Гир (1640-1718) как бы в ответ на это требование установил, что это можно обеспечить, если профиль зубьев построить по эпициклоиде. Гуку же принадлежит конструкция узла трения, применяемого до сих пор и известного как универсальный шарнир Гука.



а



б 

в



г

Рисунок 3.6. Ученые Средневековья, занимавшиеся трением:

а - Галилео Галилей; б - Фрэнсис Бэкон; в - Роберт Гук; г - Исаак Ньютон

Исаак Ньютон (1643-1727) непосредственно не занимался проблемами трибологии, но, изучая сопротивление вращению одного цилиндра относительно другого, концентричного ему, при заполненном жидкостью зазоре между ними, установил в 1668 г., что усилие, вызывающее вращение цилиндра и сдвиг в слое жидкости с постоянной скоростью, пропорционально площади сдвига и градиенту скорости сдвига по толщине зазора при постоянной температуре. Это соотношение, полученное Ньютоном, легло в основу теории гидродинамической смазки, которая была впервые создана в конце XIX века и продолжает развиваться.

В 1706 г. немецкий философ, математик и физик Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646-1736) заинтересовался природой трения. Со свойственной ему проницательностью он приходит к заключению, что коэффициент трения зависит и от природы трущихся тел, и от условий процесса (например, скольжение или качение тел). Тем самым он надолго опережает представления современников, хотя в принципе он не отрицает законов Амонтона.



а



б

в

|  |
| --- |
| Рисунок 3.7. Ученые математически сформулировавшие законы трения:  а - Вильгельм Лейбниц ; б - Гийом Амонтон; в - Шарль Кулон |

Модель Леонардо да Винчи 1519 года, утверждающая, что сила трения, возникающая при контакте тела с поверхностью другого тела, пропорциональна нагрузке (силе прижима), направлена против направления движения и не зависит от площади контакта, была переоткрыта через 180 лет Г. Амонтоном и получила окончательную формулировку в работах Ш. О. Кулона (1781). Амонтон и Кулон ввели понятие коэффициента трения как отношения силы трения к нагрузке, придав ему значение физической константы, полностью определяющей силу трения для любой пары контактирующих материалов. До сих пор именно эта формула:

Fтр = Fтр•P,

где P – сила прижатия, а Fтр – сила трения,

является единственной формулой, фигурирующей в учебниках по физике, а значения коэффициента трения Fтр для различных материалов (сталь по стали, сталь по бронзе, чугун по коже и т.д.) входят в стандартные инженерные справочники и служат базой для традиционных технических расчетов.

75 лет технического прогресса (1850-1925 гг.). В XIX веке стало ясно, что закон Амонтона-Кулона не дает правильного описания силы трения, а коэффициенты трения отнюдь не являются универсальными характеристиками. Прежде всего было отмечено, что коэффициенты трения зависят не только от того, какие материалы контактируют, но и от того, насколько гладко обработаны контактирующие поверхности. Выяснилось также, что сила статического трения отличается от силы трения при движении. Чтобы напомнить, что обычно понимается под статическим трением, представим схему простейшего эксперимента. Будем пытаться сдвинуть тело с места, потянув за трос с пружинным динамометром. При малом перемещении конца троса тело остается на месте: силы, развиваемой пружиной динамометра, недостаточно. Обычно говорят, что на контактирующих поверхностях развивается сила трения, уравновешивающая приложенную силу. Постепенно увеличиваем перемещение и вместе с ним упругую силу, приложенную к телу. В какой-то момент она оказывается достаточной для того, чтобы стронуть тело с места. Зарегистрированное в этот момент показание динамометра и называют обычно силой статического трения, характеризующего предельные возможности неподвижного (статического) сцепления тел. Если мы будем продолжать медленно вытягивать трос, то тело поедет по поверхности. Оказывается, что регистрируемые в ходе движения показания динамометра будут не такими, как в момент страгивания. Обычно сила трения при медленном движении меньше силы страгивания, статического трения. Кулон изучал именно силу трения при медленном взаимном перемещении контактирующих тел и установил, что эта сила не зависит от величины скорости, а только от направления движения (всегда направлена против движения).

Конец XIX века ознаменовался замечательными достижениями в исследовании вязкости, то есть трения в жидкостях. Наверное, с доисторических времен известно, что смазанные жиром или даже просто смоченные водой поверхности скользят значительно легче. Смазка трущихся поверхностей применялась с момента зарождения техники, но только О. Рейнольдс в 1886 году разработал первую и принципиально на то время новую теорию смазки.

Она заключалась в том, что при наличии достаточно толстого слоя смазки, обеспечивающего отсутствие непосредственного контакта трущихся поверхностей, сила трения определяется только свойствами (гидродинамикой) смазочного слоя. Сила статического трогания равна нулю, а с ростом скорости сила сопротивления движению увеличивается. Если же смазки недостаточно, то действуют все три механизма: сила статического сопротивления страгиванию с места, Кулонова сила и сила вязкого сопротивления. Итак, к концу XIX века выяснилась картина зависимости силы трения от скорости. Но уже на пороге XX века возникло сомнение в правильности этой картины при очень малых скоростях. В 1902 году Штрибек опубликовал данные, свидетельствующие о том, что при отсутствии смазки сила сопротивления не падает сразу с уровня силы трогания до кулоновой силы, а возникает постепенное падение силы с ростом скорости – эффект, противоположный гидродинамической вязкости. Этот факт был многократно перепроверен в дальнейшем и теперь обычно именуется Штрибек-эффектом. Картина зависимости силы трения от скорости приобрела форму, использующуюся до сегодняшнего дня.

Быстро развивавшаяся техника XX века требовала все большего внимания к исследованию трения. В 30-е годы исследования в области трения стали настолько интенсивными, что потребовалось выделить их как специальную науку – трибологию, лежащую на стыке механики, физики поверхностных явлений и химии (создание новых смазочных материалов – дело химиков). Только в США в этой области работают в настоящее время более 1000 исследователей, и в мировой науке ежегодно публикуется более 700 статей.

История создания подшипников. Жизнь современного человека полна чудес, но мы привыкли не замечать их. Привычные блага цивилизации не вызывают восторга, и технические новшества интересуют нас только с функциональной стороны. Детский вопрос «а что там внутри?» с возрастом исчезает, а ремонт вышедшего из строя «чуда» мы все чаще оставляем профессионалам. Знаменитая русская смекалка потеряла свою актуальность, и дух изобретателя живет теперь в единицах. Действительно, проще пойти в магазин и приобрести велосипед, чем придумывать его самому. Нам нельзя тратить время, нам нужно двигаться дальше… Да, жизнь – это движение. И почти всегда двигаться «ожившим» механизмам помогает подшипник. Вот об истории такого привычно незнакомого подшипника и пойдет дальше речь.

Человек давно и успешно использует подшипник. И основополагающую роль в истории подшипника играет процесс трения. Именно изучение и поиск путей преодоления трения дали жизнь примитивным «архиподшипникам» скольжения много тысяч лет назад, на заре развития человечества. Возраст таких подшипников около 7000 лет. Это эпоха неолита – время, когда человек приобрел умение сверления отверстий в камне и не только. Кстати, именно к тому времени относятся первые успехи человека в стоматологии. Изготавливались такие подшипники из камня и широко применялись в сверлильных инструментах и прядильных веретенах.

Следующий этап (около 5000 лет назад) в истории подшипника начался с изобретением колеса, которое позволило заменить скольжение на качение. До изобретения колеса транспортировка грузов осуществлялась, главным образом, за счет скольжения (сани, волокуши). Но в Древнем Египте уже в середине III тысячелетия были распространены каменные шары и ролики, которые использовались при перемещении больших тяжестей (рис.3.8). Но существовало одно ограничение: их использование было ограничено из-за отсутствия системы дорог с твердым каменным покрытием. Такой способ перемещения больших тяжестей просуществовал еще довольно долго. В России по такому принципу осуществлялась транспортировка первых кораблей Петра I. А позднее, знаменитый гром-камень – постамент для Медного Всадника весом в 1600 тонн – почти таким же образом проделал путь от Лахты до Сенатской площади в Санкт-Петербурге. Прямыми наследниками подобного способа перемещения стали подшипники линейного перемещения.

История борьбы подшипников с силой трения была бы неполной без упоминания о смазке. В Асуанской долине, месте где египтяне добывали большое количество кварцита и гранита для строительных нужд, сохранились гладкие полотна уплотненного грунта – следы древних дорог, по которым перемещали грузы. Для лучшего скольжения они смазывались глиной, которую постоянно увлажняли. Ко времени изобретения колеса относятся и первые дошедшие до нас образцы приготовленной смазки. Первоначально для этого использовали различные растительные масла: от подсолнечного до масла кокоса. Но такие масла отличаются низкой вязкостью и быстрым высыханием. Дольше и эффективнее в качестве смазки служили животные жиры. На Среднем Востоке смазки готовили путем продолжительного вываривания нефти (по-арабски звучит как нафта, с ударением на последнем слоге), которая в тех краях часто выходила на поверхность. По характеристикам такая мазь была близка к получаемой из коры деревьев. В России в качестве такой мази использовали деготь, получаемый из бересты березы.

В основном состав смазки был приблизительно один и тот же: минерал, чаще всего кальций, смешанный с мазью растительного или животного происхождения. В таком виде смазка неизменно применялась вплоть до XIX века. Обусловливалось это тем, что скорость работы смазываемых поверхностей была достаточно низка. С развитием техники потребовались смазки более долговечные и эффективные. В конце XIX века появились смазки на основе минеральных масел, существующие по сей день. Во второй половине XX века вследствие улучшения технологий обработки нефтематериалов были изобретены смазки на синтетической основе.

Но вернемся к подшипнику. Прототип современного сепаратора воплотился в творении инженера Александра Македонского – Диадеса. Инженерная мысль гения позволила войску Александра одержать множество великих побед. Одним из таких изобретений была осадная вышка с подвижным тараном, который передвигался на роликах по специальным желобкам. Ролики фиксировались относительно друг-друга с помощью специальной корзины, что позволяло совершать возвратно-поступательные движения без угрозы разрушения конструкции.

Считается, что история современного подшипника начинается с Леонардо да Винчи. В начале I века нашей эры император Цезарь Калигула отдал приказание построить два гигантских корабля. Один из них должен был стать дворцом, а другой храмом в честь покровительницы Калигулы – богини Дианы. При их строительстве были применены все передовые достижения инженерной мысли того времени. Построены они были в 40-м году н.э. Неизвестно, успел ли воспользоваться ими император, поскольку в 41-м году он был убит, а корабли были затоплены как наследие тирана. Попытки поднять их со дна озера предпринимались неоднократно, но почти девятнадцать веков пролежали на дне озера Неми (Италия) два гигантских корабля. Пять лет (с 1927 по 1932 года) продолжалась операция по их подъему. Озеро было почти полностью осушено, и корабли все-таки смогли доставить на берег. При изучении этих кораблей было сделано много удивительных открытий. Среди них – конструкция опорного подшипника. Причем в нескольких исполнениях! На кораблях были устроены поворотные платформы, которые поворачивались за счет размещения тел качения в основании каждой. В одной были использованы конусообразные ролики, в другой – бронзовые шары. Устройство поворотных платформ было очень близко к современным упорным подшипникам: между двух дисков по окружности через равные промежутки помещались тела качения. Равномерность распределения по окружности достигалась за счет помещения тел качения на штифты, которые вторым концом крепились к оси вращения платформы. Таким образом, тела качения вращались вокруг одной оси: в наше время доказано, что применение шариков в упорных подшипниках более эффективно, но во времена Древнего Рима это преимущество сходило на нет из-за подобного ограничения подвижности тел качения (шарики на штифтах).

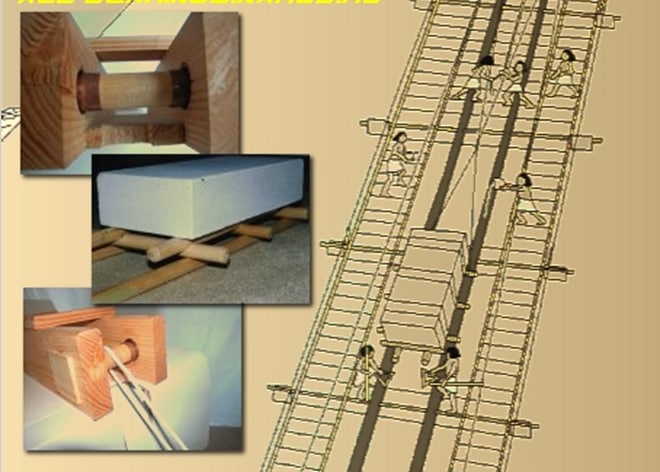


Рисунок 3.8. Линейные подшипники древности

К сожалению, корабли не сохранились до наших дней – 31 мая 1944 года они были сожжены покидавшими Италию фашистами.

С начала нашей эры и до эпохи Возрождения отсутствует какая-либо информация о развитии конструкции подшипников качения. Только Леонардо да Винчи во многих своих изобретениях использовал опоры качения, и именно его с полным на то основанием можно назвать изобретателем подшипника качения. Леонардо да Винчи создал рисунок идеальной цапфы подшипника. Его мысль нашла применение в конструкции шарикоподшипника, состоящего из внутреннего и внешнего колец, между которыми размещены вращающиеся шарики (рис.3.9).



Рисунок 3.9. Чертеж и макет подшипника конструкции

Леонардо да Винчи

Первый металлический подшипник качения был установлен в опоре ветряка, построенного в 1780 году в Англии, в Спровстоне. Подшипник состоял из двух литых из чугуна дорожек качения, между которыми находилось 40 чугунных шаров.

В XIX веке продолжалось совершенствование конструкции подшипников качения, а также расширение их применения в машинах и механизмах. Однако лишь на исходе столетия внедрение технологии абразивной обработки позволило достичь достаточной твердости и точности элементов подшипника. До этого в производстве шариков использовали круглые стальные прутья, которые формировали и обрабатывали вручную. Несовершенство такой технологии приводило к деформации подшипников из-за неравномерных нагрузок. Перелом произошел благодаря изобретениям 34-летнего техника Фридриха Фишера, который построил первый подшипниковый велосипед (1853 г.) и изобрел первый полностью автоматизированный фрезерный станок. Он сконструировал машину, которая позволила шлифовать стальные закаленные шарики и придавать им желаемую форму с большой точностью.

Однако шариковые подшипники подходили не для всех инженерных решений. В 1907 году молодой шведский инженер Свен Вингквист создал эскиз первого в мире подшипника качения на роликах, которые выдерживали повышенные нагрузки. Вскоре были разработаны их новые разновидности – игольчатые, а позднее и конические подшипники.

Подшипник в России. В конце XIX века в Москве, на Шаболовке, существовал небольшой механический завод шведского торгового дома «Шварцкопф, Дзирне и Кольпак», располагавшийся в двухэтажном кирпичном здании с деревянными пристройками. Здесь в довольно тяжелых условиях около сотни работников изготовляли мельничные валы, торфяные прессы, подъемное оборудование и др.

Предприятие работало успешно, однако один из совладельцев (Шварцкопф) изъял свою долю капитала и выехал за границу, в результате чего возникла реальная угроза банкротства, и завод перешел под опеку кредиторов. Для спасения предприятия они обратились к известнейшему дизелестроителю и нефтепромышленнику Э. Л. Нобелю, отличавшемуся, как известно, весьма высокими административными и финансовыми способностями. В предоставленной ему характеристике предприятия было упоминание о подшипниках скольжения, и Э.Л. Нобель предложил организовать производство более прогрессивных подшипников – качения, для чего связался с представителями фирмы «Свенска Куллагерфабрикен» (СКФ, «Шведские шарикоподшипниковые заводы»).

Инициатива Нобеля получила поддержку на высшем государственном уровне, и в 1916 г. было образовано Русское акционерное общество «Шарикоподшипник СКФ» с правлением в Петрограде. Шведская фирма стала одним из акционеров общества и бралась организовать производство российских подшипников качения с проектной мощностью 150 тыс. шт. в год на выкупленном обществом у прежних владельцев механическом заводе на Шаболовке.

В том же году здесь началась сборка шарикоподшипников, однако Первая мировая война внесла в производственные планы свои коррективы, и завод перешел на изготовление в основном чугунных корпусов бомбометов. Что, впрочем, оказалось довольно выгодным делом: субсидии на реализацию военных заказов и прибыли от их выполнения были столь велики, что «Шарикоподшипник СКФ2 уже к концу 1916 г. построил новый четырехэтажный корпус с логотипом на торце здания. Но развить производство шарикоподшипников в новостройке не удалось: война истощила страну, надвигавшаяся разруха проявлялась в сбоях железнодорожных перевозок, нехватке сырья, топлива и рабочих кадров.

В конце 1917 г. завод был национализирован, и в течение ряда лет подшипниками не занимались, а выпускали продукцию для железнодорожников, сельского хозяйства и др. В частности, большой интерес посетителей Всесоюзной сельскохозяйственной выставки в 1923 г. вызвала изготовленная заводскими умельцами экспериментальная ветросиловая станция.

С переходом страны к новой экономической политике предприятие было сдано той же фирме СКФ в концессию с целью создания базы для последующего самостоятельного выпуска подшипников. Производство было вскоре налажено, и уже в 1924 г. завод выпустил 8272 подшипника. В последующий восьмилетний период их годовой выпуск достиг 294,3 тыс. шт. Однако ежегодная потребность страны к началу 1930-х годов составляла ~4,5 млн. подшипников. Для удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства в Москве организовали другое, более мощное (24 млн. шт. в год) предприятие – ГПЗ-1, а на базе прекратившей свое существование концессии создали Второй государственный завод «Шарикоподшипник», переименованный вскоре во 2-й государственный завод «Шарикороликоподшипник», а затем в Государственный подшипниковый завод № 2 (ГПЗ-2). Уже в 1932 г. им было выпушено 919 500 подшипников – как за весь восьмилетний период концессии, а в 1933 г. – I 936 500!

С самого начала особенностью предприятия стала многономенклатурность и ориентация на уникальные подшипники малых серий. К примеру, на подшипниках ГПЗ-2 были смонтированы звезды московского Кремля, поворотная сцена МХАТа, ими комплектовались эскалаторы первой очереди Московского метрополитена, первые прокатные станы, буровые установки, а также самолеты, автомобили, тракторы, сельскохозяйственные машины и т. д. Так складывалась отличительная особенность ГПЗ-2 как завода с широкой номенклатурой продукции и большой долей изделий мелкосерийного производства. В то же время завод стал школой подготовки кадров, производственного и технического опыта будущей подшипниковой отрасли в стране. Только для ГПЗ-1 были подготовлены 1245 специалистов, при том что на ГПЗ-2 в 1936 г., например, трудились ~2 тыс. рабочих.

В годы индустриализации завод начал резко наращивать выпуск продукции, доведя его в 1940 г. до 3 млн. 697 тыс. шт. Особую трудовую доблесть и мужество коллектив проявил в тяжелые военные годы, поставляя подшипники на военную технику.

Завод продолжает занимать лидирующее положение в России по объему производства сферических подшипников (48%), упорных подшипников (42%), подшипников специального назначения. Марка «ГПЗ-2» широко известна в России и за рубежом. Завод имеет свыше 1000 потребителей и поставщиков.

Выводы.

Люди столкнулись с трением ещё в каченном веке и поняли, что оно может быть полезным и вредным.

В Древнем Египте инженеры уже различали трение скольжения и трения качения и использовали эти знания в гражданском и военном деле.

В Средние века основы теории трения заложил Леонардо да Винчи. Продолжили эти исследования во Франции и Англии. Наиболее близкими к природе оказались модели трения французского ученого Аматона, которые и сейчас используются в практических расчётах.

На основе теории трения были созданы подшипники качения и скольжения, без которых современные машины немыслимы.

В России производство подшипников началось в конце XIX века, после 1917 года в отрасли была создана целая сеть подшипниковых заводов, внесших большой вклад в изготовление вооружения, что способствовало победе в ВОВ. Производство подшипников и сейчас является одной из важнейших отраслей машиностроения.