

ЛЕКЦИЯ-10

ОЦЕНКА СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ПАРАХ ТРЕНИЯ

Критерии оценки работоспособности материалов в парах трения

Проверку правильности выбора материалов пар трения скольжения при заданных или принятых сопрягаемых размерах деталей и определение этих размеров при проектном расчете производят по некоторым критериям. Наиболее простой способ проверки заключается в расчете по среднему давлению p .

Способ пригоден для пар трения, работающих с малыми скоростями скольжения при невысоких температурах окружающей среды, и имеет целью обезопасить сочленение от возможного заедания. Для шарнирноболтовых соединений предельные значения удельных нагрузок (МПа) приблизительно могут быть приняты: для закаленной стали по стали – до 15, закаленной стали по баббиту – 9, закаленной стали по бронзе – 8, закаленной стали по чугуну – 6, незакаленной стали по баббиту – 6, незакаленной стали по бронзе – 5.

Если режим трения пары определяется не только давлением, но и скоростью скольжения v , то применяют принятый в конструкторской практике расчет по величине pv . Идея метода состоит в следующем: если f – коэффициент трения скольжения, то fpv представляет собой удельную мощность трения. Поскольку надежная работа подшипника, тормоза или другого узла возможна лишь при теплонапряженности, не превышающей определенную величину для данной конструкции и условий ее эксплуатации, то условие надежности подшипника по теплонапряженности можно записать: $fpv \leq A$, где A – предельное количество теплоты в механических единицах, которое может отводиться с единицы площади диаметральной проекции подшипника в единицу времени. Приняв f постоянным, получим это условие в виде $pv = \text{const}$.

Хотя допустимое значение параметра pv подбирают при этом в зависимости от скорости скольжения, способа теплоотвода, характера действия нагрузки и других условий, однако использование этого произведения как показателя работоспособности не всегда оправдано. Эта теория расчета принимает коэффициент трения постоянным и не учитывает роли относительного диаметрального зазора в подшипнике, отношения длины шипа к его диаметру и влияние вязкости смазочного материала. Тем не менее, если подшипник или другая пара работает при граничной смазке, то расчет по pv является оправданным, поскольку этот параметр косвенно характеризует температуру поверхности трения, которая в явном виде не входит в число заданных при расчете величин. Дополнительно следует лимитировать $[p]$. В инженерной практике оба расчетных критерия $[p]$ и $[pv]$ часто используют совместно.

Некоторые правила оценки для выбора материалов для пар трения

Подбор наиболее подходящих материалов для пар трения скольжения можно в каждом отдельном случае сделать только на основании тщательного сопоставления условий работы трущихся деталей, исходных свойств материалов и тех изменений, какие они претерпевают на поверхностях трения, а также при учете других обстоятельств.

Сформулируем некоторые правила подбора материалов:

1. Сочетать твердый материал с мягким, имеющим температуру рекристаллизации ниже средней температуры поверхности трения при работе. При таком сочетании металлы хорошо противостоят заеданию и характеризуются высокой надежностью. Хорошие результаты дают, пары хром – резина при смазывании минеральным маслом и водой и хром – бронза при использовании пластичных смазочных материалов.

2. Сочетать твердый металл с твердым (сочетание пар из азотированной, хромированной и закаленных сталей). Такие пары трения обладают высокой износостойкостью вследствие малого взаимного внедрения их поверхностей. Нанесение приработочных покрытий повышает надежность пар в наиболее опасный период работы – во время приработки. Применение этих пар ограничивается скоростями скольжения. Высокая точность изготовления и сборки, значительная жесткость конструкции, тщательная приработка, улучшение условий смазывания значительно расширяют область применения пар трения из твердых материалов.

3. Избегать сочетаний мягкого материала с мягким, а также пар из одноименных материалов (незакаленная сталь по незакаленной стали, алюминиевый сплав по алюминиевому, медный сплав по алюминиевому, хром по хрому, никель по никелю, пластмасса по пластмассе), за исключением пар из политетрафторэтилена и полиэтилена. Подобные пары имеют низкую износостойкость и ненадежны в работе. При незначительных перегрузках в парах образуются очаги схватывания и происходит глубинное вырывание материалов с взаимным их налипанием на поверхности трения.

4. Применять в труднодоступных для смазывания конструкциях пористые, порошковые материалы и антифрикционные сплавы.

5. Применять в качестве фрикционных и антифрикционных материалов пластические массы. В ряде случаев они повышают надежность и срок службы узла трения, снижают массу конструкции и расход дефицитных цветных металлов, уменьшают вибрации и улучшают акустические свойства машин.

6. Стремиться путем выбора материалов пары трения, смазочных материалов и присадок к ним создавать при работе пары условия реализации режима избирательного переноса.

7. Учитывать возможность при эксплуатации наводороживания поверхностей трения, что резко снижает износостойкость и надежность работы узла трения. Применять материалы, трудно поддающиеся наводороживанию.

8. Стальные детали узлов трения при окончательной доводке их поверхности подвергать финишной антифрикционной обработке (методы ФАБО, КАУО).

Выбор материалов пары трения

Выполнение требования общей и контактной прочности, жесткости или податливости деталей, их износостойкости, коррозионной стойкости, вибростойкости и т.д. обеспечивается правильным выбором материалов, назначением размеров, исходя из расчётов на прочность, выбором рациональных конструктивных форм деталей и соответствующей технологии изготовления. Выбор материала, полностью отвечающего условиям работы деталей, является весьма сложной задачей.

В зависимости от назначения трущиеся детали изготавливают из конструкционных, фрикционных, износостойких и антифрикционных материалов широкой номенклатуры. Из конструкционных сталей изготавливают детали, которые должны обладать высокой прочностью, жесткостью или податливостью. К таким деталям относятся валы, пальцы, болты шарниров, зубчатые колеса и др.

Фрикционные материалы – это материалы, которые в контакте с металлическими поверхностями имеют высокий и стабильный коэффициент трения. Применяются такие материалы в тормозах и фрикционных муфтах. Износостойкими называют материалы, которые при трении в тяжелых условиях работы изнашиваются сравнительно мало.

Все пары трения должны обладать антифрикционностью, под которой понимают комплекс свойств: достаточная статическая и динамическая прочность при повышенных температурах; способность образовывать прочный граничный слой смазочного материала и быстро восстанавливать его при разрушении; низкий коэффициент трения; отсутствие заедания на валу при перерыве смазки; высокие теплопроводимость, теплоемкость, прирабатываемость; хорошая износостойкость; не дефицитность и технологичность.

Подшипниковых материалов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Так, например, прочность баббитов с высоким содержанием олова резко снижается с повышением температуры; прирабатываемость безоловянистых бронз неудовлетворительная; неметаллические антифрикционные материалы имеют низкую теплопроводимость. Каждый из подшипниковых материалов антифрикционен в определенных режимах трения. Об антифрикционности какого-либо материала судят по его коэффициенту трения с сопряженной деталью, сравнительно с другими материалами при аналогичных условиях испытаний, по объему повреждений поверхностей трения, по температуре этих поверхностей и т.п.

Трудно отделить антифрикционные материалы от износостойких, поскольку износостойкость является общим требованием для всех материалов, в том числе и фрикционных. При подборе материалов с высокой износостойкостью всегда неявно имеют в виду и антифрикционность.

Выбор материалов при конструировании узлов трения представляет трудную задачу, так как зависит от конструкции и назначения узлов, технологии производства, условий эксплуатации, требований к сроку их службы и надежности с учетом стоимости материалов и эксплуатационных расходов.

На выбор материалов могут оказать влияние физико-механические явления на поверхностях трения, зависящие от условия работы. Например, высокомарганцовистая сталь (сталь Гатфильда), из которой изготавливают щеки дробилок, броневые плиты шаровых мельниц, воронки для приемки шихты и др. детали имеет аустенитную структуру с наличием мартенсита и включений карбидов. После закалки эта сталь имеет высокую прочность при значительной вязкости ($\sigma_s = 80-100$ МПа, $a_k = 200-300$ Нм/см², НВ 2000-2200). При больших давлениях и ударах сталь склонна к наклепу, который тем больше, чем выше удельная нагрузка, при этом твердость поверхности повышается до НВ 5000. Удары при трении приходятся на твердую корку (пленку) при вязком основании (сердцевине), при износе пленка возобновляется. Однако в условиях абразивного изнашивания (проушина звеньев гусениц тракторов при эксплуатации на песчаных почвах) эта сталь изнашивается даже быстрее, чем среднеуглеродистая.

При одних и тех же химическом составе и механических свойствах материалы могут существенно различаться по износостойкости из-за различия структур. Крупнозернистые сплавы, например, легко прирабатываются и более пластичные, но менее износостойкие. Наличие в структуре легко выкрашивающихся твердых или крупных мягких составляющих часто приводит к схватыванию поверхностей трения. Крупные карбиды в чугунах способствуют образованию сетки термических трещин при работе деталей. Сложность задачи подбора рациональной структуры материала можно показать на подшипниковых сплавах.

Основное требование к структуре антифрикционных сплавов было впервые сформулировано в 1897 г. Г. Шарпи. Согласно правилу Г. Шарпи хорошо работающие антифрикционные сплавы должны иметь равномерно распределенные в пластичной матрице (основе) твердые зерна с низким коэффициентом трения и малой склонностью к задирам. В свое время все подшипниковые сплавы удовлетворяли этому правилу (баббиты, оловянистые бронзы). Однако в последующем были разработаны сплавы с мягкими включениями в твердой матрице (свинцовистая бронза), однородные антифрикционные материалы и др.

Для изготовления деталей узлов трения в настоящее время применяют огромное количество различных материалов. Наиболее широко используют сплавы железа, сплавы из цветных металлов, порошковые и синтетические материалы.

Подшипниковыми материалами на основе железа являются графитированная сталь и перлитные чугуны: серые (АЧС) с пластичным графитом, высокопрочные (АЧВ) с глобулярным графитом, ковкие (АЧК) с хлопьевидным графитом и медистые чугуны. Эти материалы обладают высокой

твер- достью (НВ 1600-2500), плохо прирабатываются и склонны к заеданию. К сплавам из цветных материалов относят бронзы, баббиты, алюминиевые сплавы.

Бронзы применяют для подшипников, работающих при больших скоростях и удельных нагрузках. Наиболее распространены оловянные (БрО, БрОФ), оловянно-свинцовые и оловянно-цинково-свинцовые (БрОЦС). Для экономии олова разработаны безоловянистые бронзы (БрАЖ, БрАЖМ и др.), которые имеют более худшие антифрикционные свойства.

Высокооловянистые материалы, содержащие Pb , Cu , Sb , Al , в которых в пластичной матрице находятся твердые составляющие, называют баббитами. Их заливают на вкладыши при температуре 450-480 С толщиной (0,25...3,0) мм. Баббиты имеют самые высокие антифрикционные свойства и хорошо прирабатываются.

Для неответственных подшипников применяют сплавы из алюминия и кремния (АЛ2, АЛ4), алюминия и магния (АЛ8), алюминия и меди (АЛ10, АЛ18В). При выборе зазоров в подшипнике необходимо учитывать высокий коэффициент термического расширения алюминиевых сплавов. Из сплавов на цинковой основе находит применение ЦАМ, содержащий в качестве легирующих добавок алюминий, медь и магний.

Порошковые антифрикционный материалы получают путем смешивания прессования и спекания заготовок из порошков железа, бронзы, графита. После спекания в материале остаются поры которые используются как резервуар смазочного масла. При нагревании за счет трения масло выходит из пор и образует сплошную пленку на поверхности контакта, при этом расход масла в 10 раз меньше, по сравнению с расходом в бронзовых подшипниках.

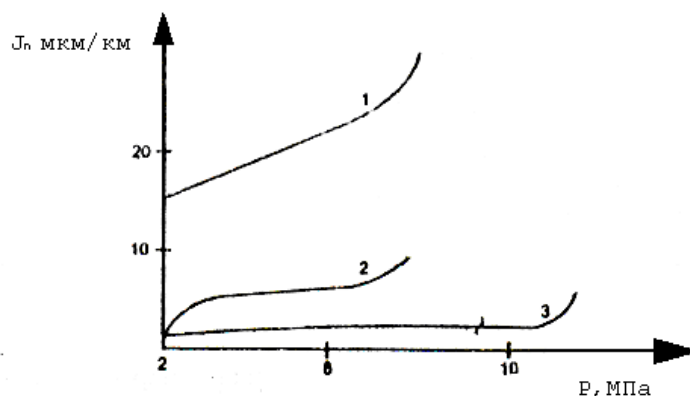


Рисунок 1 –Зависимость интенсивности изнашивания от удельной нагрузки для порошковых бронз:

- 1 – 4% неметаллизированного графита; 2 – 4% омедненного графита;
- 3 – по 5% омедненных порошков стекла и оксида алюминия

Пористость подшипника определяет величину допустимой нагрузки на него. Для обычных условий работы подшипника пористость должна быть в пределах (18...25)%. Для малонагруженных подшипников применяют

железографитные порошковые материалы – ЖГр с различным содержанием графита. Более часто используют порошковые бронзографиты (БрОГ). Введение в порошковые материалы различных добавок позволяет целенаправленно регулировать свойства. При создании порошковых антифрикционных материалов можно применять металлизированные порошки твердых смазок и твердых включений в качестве многофункциональных добавок. На рисунке 6.2 показаны кривые интенсивности изнашивания при включении этих добавок (по В.Г. Мельникову).

Пластмассы в качестве антифрикционных материалов применяют благодаря их преимуществам: невысокий коэффициент трения, хорошая прирабатываемость, высокая коррозионная стойкость, бесшумность в работе и т.п. Однако наряду с этим пластмассы имеют и отрицательные качества: низкую теплопроводимость, набухаемость в жидкостях, высокую податливость, старение. Наибольшее применение из пластмасс в узлах трения находят: полиамиды (хорошо работают в паре с закаленной сталью, удельной нагрузки не выше 5 МПа), винипласт и полиэтилен (применимы для небольших нагрузок), фотопласт-4 (широко применяется в химическом машиностроении из-за высокой интенсивности практически по всем жидкостям и газам), армированные нейлоны и поликарбонаты, текстолиты и композиции на основе эпоксидных смол.

Для работы без смазки в широком диапазоне температур разработан и широко применяется металлопластмассовый ленточный материал, состоящий из стальной ленты (подложки), на которую напекается бронзовый сферический порошок с последующей пропиткой пористого бронзового слоя фторопластом.

Для работы при высоких температурах используют тугоплавкие металлы, специальные и твердые сплавы, керамические материалы с различными смазочными материалами (графит, дисульфид молибдена, оксиды свинца и бора).

Принцип взаимного дополнения качеств

Применение материала, который полностью отвечал бы условиям работы пар трения является сложной задачей. Это вызвано тем что большинство деталей работают в условиях сложно напряженного нагружения. Они одновременно испытывают высокие динамические нагрузки и подвержены изнашиванию, должны обладать высокой прочностью и твердостью, значительными пластичностью и ударной вязкостью.

Для удовлетворения этим условиям во многих случаях экономически целесообразно применять так называемый принцип взаимного дополнения качеств. Сущность его можно показать на следующих примерах.

При изготовлении деталей часто применяют конструкционную углеродистую или легированную сталь с последующей ее цементацией и закалкой. В результате такой обработки изделие становится неоднородным по своему строению, имеет вязкую сердцевину и твердый износостойкий, но мало

пластичный поверхностный слой. Здесь качества сердцевины и поверхностного слоя дополняют друг друга, образуя необходимое по условиям работы деталей сочетание свойств.

Конструкционная углеродистая сталь, имея высокие показатели механических свойств (прочность, пластичность, твердость и т.п.), не обладает во многих случаях удовлетворительным их сочетанием. Однако углеродистая сталь легко выплавляется, хорошо обрабатывается и имеет сравнительно невысокую стоимость.

В то же время физико-механические, химические свойства деталей из низкоуглеродистой стали можно повысить в десятки раз алитированием, коррозионную стойкость при эксплуатации в промышленной атмосфере и пресной воде – азотированием. Для предупреждения коррозии вала в воде обязательно изготавливать его из коррозионно-стойкой стали, можно применить бронзовую облицовку, сквозную или только на протяжении шеек, и защитное покрытие между ними, выполнив вал из углеродистой стали.

Чугун благодаря его относительно высокой механической прочности, хорошим литейным качествам и другим положительным свойствам является ценным конструкционным материалом. Однако во многих случаях по соображениям технологичности конструкции либо исходя из особых условий работы деталей используют монолитную конструкцию из чугуна в сочетании с другими материалами. Так, в сельскохозяйственных машинах применялись колеса с литой чугунной ступицей, в которую залиты одним концом стальные спицы, расклепанные другим концом в стальном ободе.

Применяются диафрагмы паровых турбин и надувочных устройств двигателей внутреннего сгорания из чугунных полуколец или колец с залитыми стальными штампованными или механически обработанными лопатками точного профиля. Тормозную вагонную колодку изготавливают из серого перлитного чугуна с отбеленной рабочей поверхностью или собирают из вставок из белого чугуна и залитой стальной спинки-каркаса. Последний служит для увеличения прочности и предупреждения расчленения колодки на отдельные части в случае ее разрушения.

На некоторых автомобилях тормозные барабаны имеют обод из листовой стали, залитый изнутри чугуном, образующим рабочую поверхность. В некоторых тормозах для улучшения теплоотвода применяют биметаллические барабаны (алюминий – чугун).

В приведенных примерах детали неоднородны по сечению, что обусловлено применением разнородных материалов, взаимно дополняющих по своим свойствам друг друга. Эту неоднородность называют – макроскопической в отличие от микроскопической, присущей большинству материалов в изделиях. Микроскопическая неоднородность по сечению деталей возникает, например, при термохимической обработке. Она имеет несколько сглаженный характер в связи с наличием ясно выраженных переходных зон от сердцевины к поверхности.

Принцип взаимного дополнения качества используется также при получении комбинированных (композитных) материалов из нескольких

компонентов, сохраняющих свои особенности, но в совокупности образующих новые материалы, отличные по свойствам от исходных компонентов.

Способы реализации целевой макроскопической неоднородности изделий следующие:

- 1) термохимическая обработка;
- 2) облицовка поверхностей;
- 3) применение накладок и вставок;
- 4) биметаллизация.