

ЛЕКЦИЯ-7

СМАЗЫВАНИЕ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Смазывание трущихся поверхностей деталей машин необходимо для уменьшения сопротивления трению и обусловленной им потери энергии, уменьшения износа и нагрева деталей, а также для оказания демпфирующего действия и предохранения поверхностей от коррозии во время бездействия машины. Таким образом, смазка оказывает смазывающее, демпфирующее, защищающее от коррозии и охлаждающее действие.

С потоком смазочного масла отводится как теплота трения, так и притекающая к поверхностям трения теплота от горячих частей машины, как, например, в паровых турбинах, в двигателях внутреннего сгорания, в насосах для перекачки горячих жидкостей. Потоком масла выносятся также из зоны трения продукты износа. Роль смазки в охлаждении и очистке поверхности трения значительна даже при бедной, но возобновляющейся в работе смазке.

Трение металлов при смазывании их хотя бы такой полярно неактивной и маловязкой жидкостью, как керосин или вода, меньше, а износ – во много раз меньше чем при сухом трении. При трении чугуна по чугуну на машине Амслера при удельной нагрузке 12,5 МПа и одинаковой скорости скольжения В.П. Гречиным были получены следующие результаты коэффициента трения: использование в качестве смазки минерального масла – 0,02, керосина – 0,06, воды 0,22, без смазки – 0,6; суммарный весовой износ пары образцов в относительных единицах соответственно составлял 1; 1,9; 17,2 и 437. Понижение температуры поверхности трения смазочной пленкой объясняется большей ее теплоемкостью, чем у металлов. Весовая теплоемкость меди и железа составляет – 0,11, чугуна – 0,13, машинного масла – 0,40, керосина – 0,51, воды – 0,99.

Демпфирующее действие смазочного материала заключается в снижении динамичности переменной нагрузки и в уменьшении поперечных и продольных колебаний при переходе через критическую частоту вращения валов. Одновременно под влиянием масляного слоя подшипников жидкостного трения возможны усиленные вибрации роторных машин нарушающие нормальную их работу.

Необходимо отметить перспективность триботехнических исследований с применением в качестве смазочных материалов на водной основе и чистой воде. Имеются принципиальные отличия водяной смазки от масляной. Они состоят в том, что характер изменения вязкости масла и воды от давления различен и, кроме того, вязкость воды во много раз меньше вязкости масла. Гидродинамический слой при смазывании водой будет очень тонким,

поэтому требуется очень чистая вода. Наиболее эффективный путь использования в качестве смазочного материала воды и жидкостей на ее основе – применение эффекта безыносного трения. Этот путь апробирован в судостроении и экономически наиболее целесообразен. На водной основе созданы жидкости ПГВ (водный раствор полиэтиленгликоля и глицерина с комплексом антикоррозионных, антифрикционных и антипенных присадок), которые реализуют избирательный перенос в системах гидравлики.

Смазочные материалы могут быть жидкими (масла, вода, серная кислота высокой концентрации в некоторых машинах химической промышленности, эмульсии и другие жидкости), газообразными (воздушная и газовая смазки), пластичными и твердыми (тальк, графит, дисульфид молибдена и др.). Масла по происхождению разделяются на минеральные или нефтяные; органические – растительные из семян (касторовые, горчичные, сурепные); животные (сало, технический рыбий жир, костное, спермацетовые); синтетические.

В промышленности наиболее широкое (до 95%) применение нашли **минеральные масла**. По способу получения они могут быть: дистиллятные, полученные вакуумной перегонкой мазута; остаточные, полученные из остатка от вакуумной перегонки мазута – из гудрона; компаундированные, полученные смешиванием дистиллятных и остаточных масел. По области применения (по назначению) выделяют масла, моторное, индустриальное, трансмиссионное, турбинные, компрессорные, приборные и др.

Наиболее значительной по объему производства и ассортименту является группа моторных масел, подразделяемых на масла для бензиновых (карбюраторных) двигателей, дизелей и на универсальные масла для двигателей разных конструкций. В группе индустриальных масел для промышленного оборудования выделяют масла для гидравлических систем, зубчатых передач закрытого типа (редукторов), направляющих и других. Трансмиссионные масла подразделяют на масла, используемые для смазывания механических, гидромеханических и гидростатических передач.

Органические – растительные и животные масла обладают высокой смазывающей способностью, но имеют плохую стойкость к действию повышенной температуры. По этой причине в чистом виде их практически не используют, иногда добавляют к минеральным для улучшения смазывающих свойств.

Следует обратить внимание на высокие качества современных **синтетических смазочных жидкостей**. Хотя их стоимость в (4...8) раз превышает стоимость минеральных материалов, но их применение позволяет резко расширить диапазон рабочих температур и увеличить сроки

эксплуатации, что может дать существенный экономический выигрыш. Широкое применение синтетических углеводородов в компрессорах, редукторах, паровых турбинах приводит к снижению энергозатрат, уменьшению рабочей температуры и, в конечном итоге, к повышению эффективности работы оборудования.

Объем потребления синтетических смазочных жидкостей в современной технике составляет (3...4)% от общего потребления смазочных материалов. Однако их использование, по литературным данным, удваивается каждые (3...4) года. Наиболее известные синтетические смазочные материалы изготавливают на основе синтезированного углеводорода, органических эфиров, полигликолей, фосфатных эфиров и др. Температурный диапазон применения таких смазочных материалов шире, чем у минеральных масел и смазок, они могут обладать как более низкими, так и более высокими коэффициентами трения по сравнению с минеральными смазочными материалами. Синтетические смазочные материалы с низкими коэффициентами трения целесообразно применять в силовых трансмиссиях для снижения энергетических потерь, а с высокими коэффициентами трения – в качестве рабочих жидкостей для фрикционных вариаторов. Синтетические смазочные материалы обладают высокой долговечностью, высоким сопротивлением окислению, не содержат соединений, вызывающих образование осадка.

Физико-химические характеристики смазочных материалов

Основными показателями физико-химических характеристик смазочных материалов (СМ) являются:

- 1) номинальная плотность (при заданной температуре);
- 2) номинальная вязкость (определяется обычно при температуре – или, 100 С);
- 3) температура вспышки – низшая температура вспышки паров нагреваемого СМ при приближении пламени в условиях обычного давления;
- 4) температура застывания – наивысшая температура, при которой масло теряет текучесть по определенному допуску (масло после наклона стандартной пробирки под углом 45° остается неподвижным в течение 1 мин);
- 5) кислотное число (КОН) – количество миллиграммов едкого калия, требующегося для нейтрализации 1 г СМ;
- 6) коксуемость – вес кокса в процентах к навеске испытуемого СМ;
- 7) зольность – наличие в СМ несгораемых веществ;
- 8) содержание механических примесей;
- 9) содержание воды;

- 10) содержание водорастворимых кислот и щелочей;
- 11) коррозионное воздействие на железные и медные пластинки;
- 12) содержание серы;
- 13) содержание селективных растворителей – фенола, крезоло, нитробензола и фурфурола, применяемых при селективной очистке СМ.

За исключением вязкости, все показатели либо косвенно и ограниченно характеризуют поведение СМ в эксплуатации, либо служат для контроля их качества при производстве, транспортировке и хранении. Проанализируем некоторые из этих характеристик.

Плотность сама по себе не характеризует качества СМ, но ее уменьшение сопровождается снижением вязкости и температуры вспышки. Последняя служит показателем испаряемости и огнеопасности СМ. Температура вспышки учитывается в случае близости работающего СМ к горячему пару (газу, металлу). Температура вспышки должна быть выше температуры смазываемой поверхности. Температура застывания не характеризует полной потери СМ подвижности, так как заметная текучесть сохраняется до температуры, которая на $(15...20)^\circ\text{C}$ ниже температуры застывания (определяется по ГОСТ). Косвенно по этой температуре, можно судить о растекаемости СМ по поверхности трения.

Кислотное число характеризует содержание кислот в СМ. Водорастворимой кислотой в наработавшем СМ может быть серная кислота как след после кислотной очистки. При отсутствии водорастворимых кислот начальная кислотность СМ обусловлена нафтеновыми кислотами, и кислотное число в этом случае характеризует содержание в СМ именно этих кислот. Возрастание кислотного числа работающего СМ позволяет судить о степени его окисления. Наличие водорастворимых кислот и щелочей в СМ не допускается вследствие их разъедающего действия на металлы. Щелочь в СМ может оказаться как след ее после очистки. Следует отметить, что в работающие СМ двигателей внутреннего сгорания могут попасть из продуктов разложения топлива хотя и водорастворимые, но весьма слабые органические кислоты, как, например, уксусная.

Коксуемость, как показатель качества СМ, определяет степень его очистки склонность к образованию отложений. Исследования показали, однако, что количество и состав отложений в двигателе внутреннего сгорания не зависит от вида СМ (для смазывания использовались масла моторное Т, автолы 6, 10 и 18 с резко различной допустимой коксуемостью). Что касается зольности, то она указывает на наличие в СМ механических примесей и солей (мыл). Мыла при прокаливании дают твердый

остаток в виде золы. Мыла в СМ способствуют его окислению, а повышенная – зольность увеличению твердости нагара в двигателях внутреннего сгорания.

Присадки к маслам

Для улучшения эксплуатационных качеств минеральных масел применяют специальные добавки к ним, **именуемые присадками**. Присадки маслам должны хорошо в них растворяться, не выпадать в виде осадка, не задерживаться на фильтрах смазочной системы и не оседать на поверхностях. По целевому назначению присадки бывают:

- 1) антифрикционные – для стабилизации сил трения или снижения их в условиях граничного трения;
- 2) противоизносные – для уменьшения интенсивности изнашивания поверхностей;
- 3) противозадирные – для предотвращения и смягчения процесса заедания поверхностей;
- 4) вязкостные – для улучшения вязкостно-температурных характеристик масел;
- 5) депрессорные – для понижения температуры застывания масел;
- 6) противоокислительные (ингибиторы) – для замедления окисления масла кислородом воздуха;
- 7) антикоррозионные – для уменьшения коррозионного действия масел на металл;
- 8) моющие – для уменьшения углеродистых отложений на деталях двигателей;
- 9) противопенные – для предотвращения вспенивания масел и для быстрого разрушения образующейся пены;
- 10) многофункциональные – для улучшения одновременно нескольких свойств масел.

Пластичные смазочные материалы

Пластичные СМ являются коллоидными системами. Они легко деформируются под внешним воздействием. Пластические свойства их связаны с температурой.

Пластичные СМ представляют собой минеральные масла, загущенные мылами, т.е. солями растительных, животных и синтетических жирных кислот. В зависимости от состава мыла пластичные СМ разделяются на кальциевые, натриевые, кальциево-натриевые, алюминиевые, магниевые и др. Кальциевые СМ – солидолы, в воде не растворяются; при плавлении теряют содержащуюся в них свободную и связанную воду и начинают распадаться

на масло и мыло; после охлаждения солидола его смазочные свойства не восстанавливаются. Кальциевые СМ не могут длительно работать при температуре 55°C и выше без пополнения.

Натриевые пластичные СМ более термостойки, но не влагостойки. Они легко растворяются в воде, выделяя свободные жирные кислоты и щелочи, вызывающие коррозию металла, и образуют легко смываемую с трущихся поверхностей эмульсию. Кальциево-натриевые СМ целесообразно применять в условиях повышенной температуры и влажности. В последние годы промышленность выпускает литиевые смазки (литолы), которые обладают высокими антифрикционными свойствами. Основными качественными характеристиками пластичных СМ являются температура каплепадения, пенетрация и содержание механических примесей.

Температура каплепадения – это температура падения первой капли СМ, нагреваемого в капсуле прибора в строго определенных условиях. Температура каплепадения служит условной характеристикой термостойкости СМ. Для СМ, содержащих мыла, она должна быть на $(15...20)^{\circ}\text{C}$ выше предполагаемой рабочей температуры узла трения.

Пенетрация выражается в градусах и представляет собой глубину погружения стандартного конуса в испытуемый СМ за 5 с, выраженную в сотых долях сантиметра. Пенетрация характеризует степень пластичности СМ. Чем выше число пенетрации, тем меньше пластичность. По числу пенетрации приближенно можно судить о прокачиваемости СМ через трубопроводы.

Преимущества пластичных смазок: хорошая работоспособность при малых скоростях скольжения и высоких удельных давлениях, при действии ударных и знакопеременных нагрузок, при частых остановках, а у специальных смазок – и при высоких температурах; возможность работы соединений при более высоких значениях зазоров; хорошее удерживание в корпусах, хорошее заполнение зазоров в узлах трения и неплотностей корпусов подшипников, что препятствует загрязнению поверхностей трения.

Однако у пластичных смазок, возможно, их расслоение, расплавление и вытекание при длительной работе при повышенной температуре. Смена смазки требует таких трудоемких процессов, как разборка и промывка механизмов. Конструктивные возможности при решении задач подвода пластичной смазки более ограничены.

Металлоплакирующие смазки

Металлоплакирующие смазки – класс смазочных материалов, содержащих (по массе от 0,1 до 10%) присадки: порошки металлов, сплавов их окислов, соли и комплексные соединения металлов, металлоорганические

соединения. При реализации эффекта безызносности на трущихся поверхностях деталей в процессе работы узлов трения формируется тонкая, трудноподдающаяся окислению защитная самовосстанавливающаяся металлическая пленка из введенных в смазку присадок. Толщина пленки составляет от нескольких атомных слоев до (1...2) мкм.

Металлоплакирующие смазки применяют в тяжелонагруженных узлах качения и скольжения в самолетах, автомобилях, двигателях внутреннего сгорания, прокатного металлургического оборудования, шпинделях зачистных машин, текстильном, швейном и обувном оборудовании и др. Использование металлоплакирующих смазок позволяет повысить долговечность узлов трения в (2...3) раза, снизить потери на трение на (30...200)% и тем самым повысить КПД машин и оборудования, уменьшить расход смазочных материалов в (2...3) раза, увеличить период между смазочными работами до 3-х раз.

Наибольшее распространение получили металлоплакирующие смазки, образующие медную сервовитную пленку. Образование сервовитной пленки в процессе трения обусловлено его созидательным характером, определяемым интенсивностью обмена узла трения с внешней средой энергией и веществом, а также коллективным поведением ионов металла (порошка металла или его окисла), из которых формируется сервовитная пленка, защищающая поверхности трения от изнашивания. Металлическая сервовитная пленка, образующаяся в процессе трения, имеет рыхлую структуру, пориста, в ней почти отсутствуют дислокации, и имеется большое количество вакансий.

Об эффективности металлоплакирующих присадок.

Повышенная эффективность металлоплакирующих смазок обусловлена следующими факторами: осуществлением контакта поверхностей трения через пластический деформирующийся мягкий и тонкий слой металла. При обычном трении, как со смазкой, так и без смазки, детали контактируют на очень малой площади сопряженных поверхностей, составляющей 0,01...0,0001 от номинальной площади. В результате участки фактического контакта испытывают весьма высокие напряжения, что приводит к их взаимному внедрению, пластической деформации и к интенсификации изнашивания. При наличии сервовитной пленки площадь фактического контакта увеличивается в 10...100 раз, и материалы сопряженных деталей испытывают лишь упругие деформации. Износ поверхностей резко уменьшается;

Реализация эффекта Ребиндера. Обычные смазочные материалы являются кислородоносителями, они окисляют поверхности трения и тем самым уменьшают возможность их схватывания. Однако окисные пленки препятствуют проникновению среды к металлу, в результате чего эффект Ребиндера проявляется слабо, и пластической деформации подвергаются большие объемы металла. При использовании металлоплакирующей смазки окисления поверхностей не происходит, трение здесь носит восстановительный характер. Среда взаимодействует с металлом, и в результате пластическая деформация локализуется в тонком слое.

Перенос частиц износа с одной поверхности трения на другую и удержанием частиц в зоне контакта электрическим полем. Продуктами износа при использовании обычных смазочных материалов являются в основном окислы, которые не имеют электрического заряда и свободно уносятся из зоны контакта. При наличии на поверхностях трения сервовитной пленки продукты износа состоят из частиц металла. Поверхность таких частиц пористая они покрываются адсорбционным слоем ПАВ, имеют электрический заряд, под действием которого сосредотачиваются в зазорах. Кроме того, частицы переносятся с одной поверхности трения на другую.

Защита поверхностей трения от проникновения водорода. Водород образуется в процессе трения как продукт разложения водяных паров, топлива, смазочных материалов, смазочно-охлаждающих жидкостей, а также деструкции в зоне контакта полимеров. Водород проникает в глубь стали или чугуна, и ускоряет изнашивание деталей. Металлическая сервовитная пленка, образующаяся при использовании металлоплакирующей смазки, защищает стальные поверхности трения от проникновения водорода; кроме того, она снижает удельные нагрузки на контакте, отчего водорода образуется значительно меньше.

Твердые смазочные материалы (ТСМ)

Наиболее широкое распространение из **твердых смазочных материалов (ТСМ)** получили графит, дисульфид молибден и ряд других веществ, которые под механическим воздействием расщепляются и образуют на поверхности трения тонкую пленку, которая разделяет поверхности трения и имеет низкий коэффициент трения. Это объясняется особенностями строения кристаллической решетки данных материалов.

В кристаллической решетке графита атомы углерода расположены в параллельных осях, отстоящих один от другого (ближайшего) на расстоянии 0,34 нм, а в каждом слое они размещаются в вершинах правильных шестигранников с длиной стороны 0,14 нм (рисунок 1).

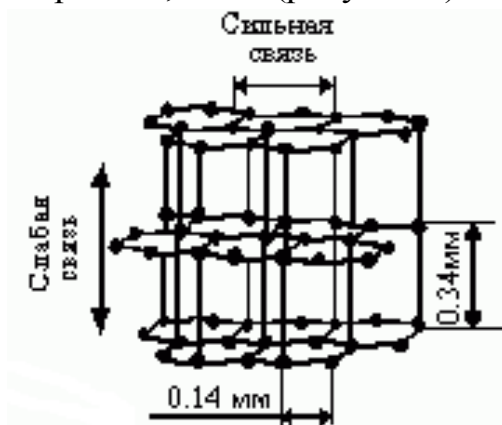


Рисунок 1 – Кристаллическая структура графита – слои плотноупакованных атомов разделены большими расстояниями

Так как силы взаимного притяжения между атомами в слоях значительно больше, то связи между атомами в слоях значительно прочнее, чем между слоями. Приведенное описание не является полным. Некоторые факты не позволяют объяснять смазочное действие графита только слоистой структурой. Так, сила трения при смазывании графитом в сухом воздухе выше, чем во влажном; сила трения в атмосфере азота существенно больше, чем в воздухе, причем в сухом азоте выше, чем во влажном; графит не обладает хорошей смазочной способностью в восстановительной среде смеси газов. Таким образом, наличие пленки влаги или окисных пленок является необходимым условием для проявления графитом его смазочного действия.

Кристаллическая решетка дисульфида молибдена (рисунок 2) подобна решетке графита: между атомами молибдена и серы имеются тесные связи, в то время как расстояние между слоями атомов серы относительно больше. Благодаря этому дисульфид молибдена можно использовать как смазочный материал при низких температурах, а также в вакууме.

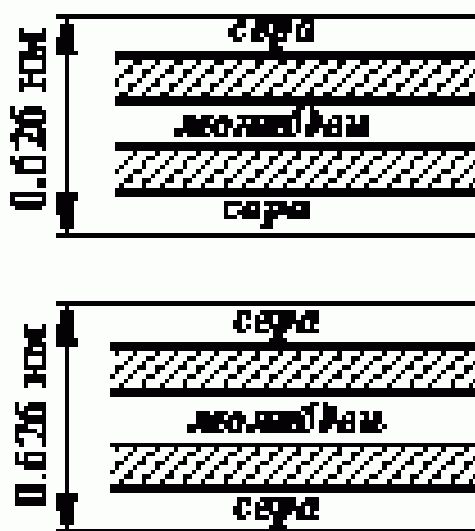


Рисунок 2 – Структура дисульфида молибдена – единичные пластинки состоят из чистого молибдена или из чистой серы, расстояние между ними 0,366 нм и связь относительно слабая

Коэффициент трения ТСМ равен 0,05...0,15. Недостатком ТСМ является более низкий отвод теплоты от поверхностей трения, чем у жидких масел, а также малая долговечность. Пополнение ТСМ часто сопряжено с трудностями конструкционного и эксплуатационного характера. Однако в некоторых узлах, работающих в условиях вакуума, единственным способом смазывания является применение ТСМ.

При использовании ТСМ необходимо, чтобы сопряженные поверхности трения имели необходимые антифрикционные свойства (прирабатываемость, отсутствие склонности к задирам и схватыванию). ТСМ применяют в виде порошков, карандашей, твердых смазочных полимерных пленок и брикетов.

Ряд твердых смазочных полимерных пленок (в виде суспензий) разработан во ВНИИНП. Их наносят распылением или погружением детали в суспензию.

Отверждение производят при температуре (120...300) °С в течение (2...3) ч. Смазочные покрытия применяют только при трении без СМ; в жидкостях они отслаиваются.

В агрессивных газах и парах применяют антифрикционные покрытия в виде фторопластовых лаков и суспензий, разработанных в НПО «Пластполимер». Наиболее распространенными являются антифрикционные лаки ВАФ-31, ФБФ-74Д, фторопластовая композиция ФК-33 и др. Эти композиции состоят из порошка фторопласта ЧД или ЧДП и связующего типа БФ. Суспензии и лаки наносят кистью, распылителем или погружением.