

## ЛЕКЦИЯ-19

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН И ПУТИ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

#### Требования к очистке изделий в связи с износостойкостью

Для очистки деталей перед их сборкой от консервирующего смазочного материала или от загрязнений, оставшихся на поверхности при изготовлении, производят промывку деталей и обдувку их сжатым воздухом. Организация и методы очистки определяются масштабом производства, габаритами и конструкцией деталей.

Особое внимание при очистке следует уделять каналам смазочной системы и маслопроводам, откуда осевшие на их стенки во время изготовления, хранения и транспортирования песок и другие загрязнения могут попасть в поток масла в процессе эксплуатации.

Все трубы, фитинги и клапаны перед поступлением на сборку необходимо тщательно очищать. Рекомендуется следующая технология очистки труб большого диаметра: дробеструйная очистка труб изнутри и продувка сжатым воздухом; погружение и выдержка в течение 1 ч в горячем масле с температурой на (15...20) С выше наибольшей эксплуатационной температуры масла в системе; обстукивание трубы по длине; быстрый перенос в ванну с холодным маслом. После двукратного повторения процедуры и выемки трубы из последней ванны дают маслу стечь и через трубу протягивают тампон из неворсистой ткани. После проверки чистоты внутренней полости открытые отверстия трубы закрывают. Аналогично подвергают очистке соединительные элементы и клапаны. В случае необходимости после дробеструйной очистки производят дополнительную зачистку абразивным камнем. Вместо закрытия отверстий деталей хранение и доставку их можно осуществлять в завязанных пакетах из плотной бумаги.

Удаление заусенцев важно для повышения надежности работы пар трения. Для этой цели наиболее эффективна и экономична гидроабразивная очистка деталей, для которой отверстия малого диаметра с образовавшимися заусенцами в глубине не служат препятствием.

Промытые от консервирующего смазочного материала прецизионные детали и комплекты, подготовленные к сборке, но не идущие сразу на комплектование, помещают в закрытые ящики с рабочей жидкостью для предохранения от попадания пыли и других посторонних частиц на поверхности деталей и в их внутренние полости.

Наиболее ответственные агрегаты следует собирать в закрытых помещениях, вдали от дорог, дымовых труб и других источников пыли. Предусматриваются также меры по созданию избыточного давления в помещениях.

Собранные агрегаты и отдельные узлы машин при изготовлении или ремонте промываются – прокачиваются на специальных установках или стендах теми жидкостями, на которых они работают. Давление и температура промывочных жидкостей должны соответствовать рабочим давлениям и температурам. Продолжительность промывки агрегатов и узлов в зависимости от их конструкции составляет от 3 до 15 мин. Для контроля качества промывки устанавливают контрольные фильтры. При обнаружении на фильтрах металлических блесков или других механических частиц фильтры очищаются и агрегат промывается вновь. После промывки-прокачки наружную поверхность агрегатов промывают от рабочей жидкости, а наружные отверстия закупоривают.

Промывку-прокачку смазочной, гидравлической, топливной и других систем производят после окончательной сборки машины. Систему заправляют рабочей жидкостью, устанавливают контрольные фильтры и производят апробирование системы – проверяют ее герметичность и рабочие параметры. В системах ответственных механизмов с прецизионными парами, как и при промывке агрегатов, наличие на фильтрах металлических и других частиц недопустимо.

В сложных машинах промывку систем производят по частям. При этом отдельные участки системы закольцовывают специальным промывочным агрегатом. Параллельно работающие в системе трубопроводы не рекомендуется промывать одновременно, так как может быть не обеспечено одинаковое качество их промывки. Одновременная промывка трубопроводов и баков не рекомендуется, так как механические частицы, вымытые из трубопроводов, могут задерживаться между перегородками бака. Скорость движения жидкости при промывке обычно принимают в (1,5...2) раза больше рабочих скоростей.

В эксплуатации перед заменой масла необходимо промыть систему от остатков грязи, осевших на стенках картеров, масляных баков, отстойников, на фильтрах, в трубопроводах, каналах системы и на трущихся деталях. Помимо абразивного действия на трущиеся детали грязь, не удаленная из смазочной системы, способствует окислению свежего масла.

Слив отработанного масла производится одновременно из картеров, баков, фильтров, маслоохладителей и т.п. Для быстрого стока масла, обеспечения слива из каналов системы и лучшего удаления механических примесей (что возможно, когда они находятся во взвешенном состоянии) эти операции следует производить сразу после остановки машины. Слив производится самотеком или же масло выкачивается насосами.

В качестве промывочных материалов применяют керосин, неэтилированный бензин, дизельное топливо, активные растворители (щелочные растворы, четыреххлористый углерод и др.).

Применение того или иного промывочного материала или растворителя зависит от степени загрязнения поверхностей, наличия и толщины лаковых отложений.

Гидравлические системы после слива рабочей жидкости наполняют растворителем, включают насос и переставляют золотники или краны так, чтобы облегчить промывку устройств и гидropроводов. Циркуляционную смазочную систему автотракторных двигателей рекомендуется промывать так: снять масляные фильтры, поставить их колпаки и, использовав специальные наконечники, промыть систему с помощью нагнетателя сначала в направлении масляного насоса, а затем – в направлении подшипников коленчатого вала, поворачивая последний вручную на пол-оборота; затем с помощью нагнетателя вытесняют остатки дизельного топлива и заполняют систему чистым маслом.

Одновременно с промывкой и заливкой картеров производят промывку всех точек ручного смазывания. Должны быть также тщательно очищены детали, связанные с вентиляцией в системе. Обычно при смене масла заменяют фильтрующие элементы фильтра тонкой очистки.

Перед вводом в эксплуатацию машины, находящейся на длительном хранении, необходимо тщательно удалить с нее консервирующую смазку. Двигатели внутреннего сгорания прогревают для этого горячей водой до температуры блока цилиндров (60...70) С. После удаления консервирующей смазки с деталей и спуска ее из картеров промывают систему. Соблюдение этих условий необходимо, ибо остатки тугоплавкой консервирующей смазки могут уже в первые часы работы машины закупорить масляные каналы и прекратить доступ масла к смазываемым точкам.

### **Обкатка машин**

Как новая, так и отремонтированная машина или механизм перед вводом в эксплуатацию в соответствии с паспортными данными должны пройти обкатку. Назначение обкатки – приработка в едином комплексе всех пар трения, входящих в состав машины.

Погрешности сопрягаемых поверхностей деталей и неточности во взаимном расположении рабочих поверхностей в сопряжениях обуславливают весьма малую фактическую площадь взаимного контакта деталей. Приложение эксплуатационных нагрузок к деталям при таком контактировании их поверхностей привело бы при работе машины к быстрому перегреву во многих парах и их заеданию. Обкатка машины или механизма готовит детали к восприятию эксплуатационных нагрузок при соответствующих скоростных режимах.

Во время обкатки должны быть реализованы два процесса. Первый процесс можно назвать макрогеометрической приработкой, второй – микрогеометрической. Микрогеометрическая приработка проходит сравнительно быстро. У автомобильных двигателей на это требуется (1...2) ч, между тем как полная приработка двигателя длится (35...40) ч, а полная обкатка тракторных двигателей по некоторым режимам (50...60) ч. Значительные технологические дефекты изготовления деталей и сборки машины и конструктивные недочеты в обеспечении хорошего

взаимного прилегания поверхностей не могут быть устранены при обкатке и даже при работе машины в течение межремонтного периода.

Приработка протекает на отдельных участках в режимах трения при граничной и полужидкостной смазке. При этом происходит повышенное накопление продуктов изнашивания. Возможно отделение крупных частиц при выкрашивании и срабатывании наиболее выступающих неровностей поверхности. Желательно поэтому при стендовой обкатке машин в зависимости от их типа и масштабов производства иметь специальную циркуляционную смазочную систему с усиленной фильтрацией для предохранения поверхностей трения от повреждений продуктами изнашивания, что вызывает необходимость увеличить время приработки. После приработки масло в картерах и остальных элементах системы загрязняется и его следует считать отработанным. Слив масла для лучшего удаления отстоя и загрязнений производят, когда масло достаточно прогрето. Картер промывают маловязким маслом или смесью масла и керосина. Масляные фильтры и отстойники промывают керосином или другой промывочной жидкостью. Промывка трущихся поверхностей керосином после обкатки недопустима: керосин смывает масляную пленку и после пуска машины поверхности будут кратковременно работать без СМ. Разборка узлов трения по окончании стендовой обкатки для контроля деталей приводит в дальнейшем к необходимости дополнительной обкатки.

#### **Критерии оценки окончания приработки:**

- 1) переход на прямолинейный участок кривой изнашивания (можно установить по наличию железа в масле);
- 2) минимум мощности при холостом ходе машины;
- 3) стабилизация момента трения и температуры;
- 4) наибольшая эффективная мощность двигателя при заданной скорости;
- 5) достижение заданной степени прилегания контактирующих поверхностей.

Длительность обкатки определяется начальной шероховатостью поверхностей трения, точностью обработки деталей и их сборки, материалом деталей наиболее напряженных пар трения и зависит от эксплуатационных режимов работы машины, от режима обкатки и от свойств смазочного материала.

#### **Технология и режимы обкатки машин**

Под технологией обкатки понимают последовательность и длительность нагружения машины при соответствующих скоростных режимах. Обкатку машины начинают с холостого хода на малых скоростях. Холостой ход используют также для проверки исправности всех устройств и систем. Если при эксплуатации машины некоторые узлы трения работают при повышенных температурах, то при обкатке должен быть этап, соответствующий такому тепловому режиму машины. Обкатка, например, автотракторных двигателей складывается из холодной (с приводом от постороннего источника) и горячей. Режим горячей обкатки под нагрузкой

иногда относят к испытаниям. Различные варианты режимов обкатки связаны с разной их продолжительностью и дают неодинаковую величину первичного (приработочного) износа. В результате обкатки могут произойти некоторые изменения физико-механических свойств материала приповерхностного слоя, затронутого приработкой. Последнее обстоятельство не может иметь существенного значения в парах трения скольжения при допустимом линейном износе около 50 мкм.

Оптимальный вариант режима обкатки машины должен удовлетворять требованиям наименьшего первичного износа трущихся частей, минимальных затрат времени и средств. Особенно важно определить оптимальный режим обкатки двигателей внутреннего сгорания, как наиболее распространенных машин, имеющих большое число узлов трения скольжения с тяжелыми условиями работы.

Режим обкатки нельзя рассматривать изолированно от применяемых для приработки масел и топлив. Свойства смазочного материала при обкатке, как и при любом режиме трения смазанных поверхностей, имеют существенное значение. Маловязкие масла, проникая через узкие щели, лучше, чем пластичные СМ, отводят теплоту от поверхностей трения, лучше смывают с рабочих поверхностей образовавшиеся продукты изнашивания; фильтрация таких масел и выделение из них загрязнений облегчены. Распространены рекомендации о применении во время обкатки смазочных масел в (2...3) раза меньшей вязкости, чем масла, применяемого в эксплуатации для данной машины. Режимы обкатки при этом подбирают такими, чтобы было исключено заедание узлов трения. При обкатке автотракторных двигателей применяли веретенные масла, дизельное топливо в чистом виде или в смеси с маслом, на котором работает двигатель. Нижний предел вязкости масла назначается таким, чтобы была обеспечена достаточная его подача для охлаждения поверхностей.

Для сокращения времени обкатки применяют присадки к маслам, позволяющие форсировать режим. При этом для обкатки часто используют масла требуемой в эксплуатации вязкости, поскольку при повышенном температурном режиме масло разжижается. Присадками к маслам при обкатке могут служить поверхностно-активные вещества, их металлические мыла, органические соединения серы, хлора, фосфора и других компонентов; металлоплакирующие (МКФ18У).

В основе действия поверхностно-активных веществ лежит их способность адсорбироваться на поверхностях раздела фаз. При невысоких давлениях в контакте СМ, образуя прочный адсорбированный слой, разделяет поверхности трения и уменьшает износ. На неприработанных поверхностях, где развиваются высокие местные давления, смазочный материал, пластифицируя металл, ускоряет изнашивание.

Действие присадок, содержащих серу, хлор и фосфор, основано на образовании легко срабатываемых пленок, которые получают в результате химического взаимодействия активного элемента с металлом детали. Из указанных элементов сера является наиболее активной и доступной,

поэтому серосодержащим присадкам уделено наибольшее внимание. Серосодержащие масла образуют различного состава сульфиды железа, меди, алюминия, олова, сурьмы, магния и ускоряют образование окислов железа. На меди и сплавах на ее основе образуется сплошная сульфидная пленка относительно большой толщины. Сера, проникая в межкристаллитные границы и микротрещины поверхностных слоев стальных и чугуновых деталей, действует как поверхностно-активное вещество.

Ранее уже отмечалось облегчение приработки нанесением прирабочных покрытий. Заслуживает внимания попытка использования для этих целей тончайших пленок из высокополимерных материалов. Иногда практикуют травление шеек коленчатых валов на глубину (1...3) мкм. На некоторых заводах производили травление рабочих поверхностей цилиндров крупных двигателей.

В заключение отметим, что фрикционные пары тоже требуют приработки для лучшего прилегания поверхностей, а в некоторых случаях для создания на поверхности рабочего слоя нужного качества, как, например, при накладках из ретинакса.

### **Влияние условий эксплуатации и режима работы на интенсивность изнашивания**

Использование машин по назначению в надлежащих условиях и правильная загрузка их имеют важное значение для долговечности подвижных деталей. Так, например, применение для шлифовальных работ станков, предназначенных для нарезания точных резьб, сопряжено с абразивным изнашиванием узлов трения и быстрой потерей станком точности. Расположение точных винторезных станков вблизи станков для обработки чугуновых изделий или шлифования недопустимо по той же причине.

Возможны случаи, когда машина хотя и используется для выполнения предназначенных для нее операций, однако характер ее загрузки способствует неравномерному изнашиванию деталей. Обработка коротких винтов на станках, предназначенных для обработки длинных винтов, приводит к повышенному износу ходовых винтов станков на коротком участке и делает их в дальнейшем непригодными.

Непредусмотренные большие силовые воздействия интенсифицируют изнашивание деталей. В связи с этим на прецизионных металлорежущих станках нельзя производить обдирочные работы; припуск на отделочные операции должен быть минимальным в соответствии с нормативами.

В двигателях внутреннего сгорания повышение нагрузки сверх оптимальной ведет к сокращению сроков их службы.

Пусковой период машины связан с повышенной интенсивностью изнашивания, которая зависит от длительности простоя машины перед пуском, от температуры деталей и свойств смазочного материала. Пусковым периодом следует считать промежуток времени от момента пуска до момента стабилизации теплового состояния машины. Пусковой период со-

проводятся изменениями величин и форм зазоров, иногда – резкими; в некоторых сечениях зазоры могут даже исчезнуть.

Значительный износ при пуске двигателя обусловлен рядом причин. После остановки двигателя нагретое масло быстро стекает с горячих стенок цилиндров и остается в подшипниках в незначительном количестве. В момент стартования поршня силы трения тем больше, чем больше перерыв между остановкой и последующим пуском. Даже в летнее время тепловой режим двигателя при пуске понижен, и температура стенок цилиндра ниже температуры точки росы кислот, содержащихся в продуктах сгорания. Конденсируясь на стенках, кислоты вызывают их коррозию. Весьма существенно и абразивное воздействие сохранившихся и образовавшихся при пуске продуктов изнашивания. В карбюраторных двигателях топливо, конденсируясь на стенках цилиндра, смывает с них масло. Нормальная подача масла в верхнюю рабочую зону цилиндра начинается только через (3...12) мин после начала пуска двигателя. В зимнее время сохранившееся на стенках масло замерзает, а при пуске разрушается. Холодное загустевшее масло медленнее поступает к поверхностям трения.

Пуск автотракторного двигателя с помощью буксирования машины приводит к чрезвычайно большим износам всех трущихся деталей, так как двигатель некоторый промежуток времени работает без смазывания. Вредно также трогание транспортной машины с места при застывшем в картере масле.

Для уменьшения износа полезно перед пуском двигателя повернуть коленчатый вал несколько раз вручную или с помощью стартера. Перед пуском, например, судовых дизелей производят прокачку двигателя маслом, сочетая эту операцию с проворачиванием коленчатого вала на 2...3 оборота валоповоротным устройством.

Переход на более форсированный режим работы машины может значительно ухудшить условия работы трущихся деталей. При эксплуатации дизелей замечено, что вслед за увеличением частоты вращения коленчатого вала давление подачи масла в подшипники заметно снижается и только через некоторое время начинает медленно повышаться до величины, соответствующей скоростному режиму работы машины. Аналогичные явления наблюдаются в случае «разноса» двигателя (вследствие утери гребного винта, заедания плунжеров топливных насосов и других причин).

В судовых двигателях, работающих непосредственно на гребной винт, переход от малого хода на средний, тем более на полный ход, связан с резким повышением нагрузки и при недостаточно прогревом двигателя может привести к заклиниванию поршней в цилиндрических втулках.

Повышенное изнашивание деталей ходовой части транспортных машин происходит и в период их остановки. При тормозном моменте колеса, равном или превышающем момент от сил сцепления колеса с полотном дороги, происходит переход от качения к скольжению.

Длительные установившиеся режимы работы машины при нагрузках ниже номинальных в некоторых случаях повышают скорость изнашива-

ния. Это относится в первую очередь к двигателям внутреннего сгорания, где при подобных условиях тепловой режим неблагоприятен для работы цилиндропоршневой группы, а скоростной режим – для смазывания поверхностей трения.

Работа машины характеризуется нагрузочным, скоростным и тепловым режимами. Одна и та же производительность машины может быть достигнута при различных сочетаниях параметров нагрузочного и скоростного режимов. Некоторые сочетания могут оказаться наиболее выгодными с точки зрения износостойкости, удовлетворяя вместе с тем требованиям экономичности.