

УДК 622.002.5:62-192

ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ГОРНЫХ МАШИН

С.М. БАРАЧЕНЯ, В.М. БЫЧЕНКО

(Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством)

Рассмотрено влияния смазки на долговечность и надежность работы зубчатых передач горных машин. Смазочный материал является неотъемлемым элементом сопрягаемых зубчатых колес. Применение качественных смазочных материалов повышает долговечность и эффективность работы зубчатых колес.

Для большинства подземных горных машин редукторы являются основными элементами, осуществляющими привод почти всех исполнительных органов машины. Зубчатые колеса - самые массовые детали редукторов. Широкое распространение зубчатых передач объясняется их высокой нагрузочной способностью и надежностью [1].

Рудничный самоходный транспорт эксплуатируется в тяжелых условиях, наиболее характерными из которых являются: значительные ударные нагрузки из-за неровностей шахтных дорог и быстрый износ средств транспорта; разветвленность и сложность профиля транспортных коммуникаций, высокая абразивность горной массы. Кроме того, для шахтного самоходного транспорта характерными условиями эксплуатации являются стесненность рабочего пространства, повышенные влажность и запыленность, химическая активность шахтных вод, взрывоопасность рудничной атмосферы. При эксплуатации самоходного транспорта шахтная вода и пыль попадают в масляную ванну редукторов, в результате это приводит к интенсивному старению смазки, что в свою очередь является причиной преждевременного выхода из строя зубчатых колес. Учитывая данное обстоятельство необходимо проводить регулярный контроль смазки. При этом возможность проведения контроля должна быть обеспечена на месте и с быстрым получением результатов. Действие запыленности шахтного пространства на процессы изнашивания и надежность горной техники подтвердились многими авторами (Г.И. Солодом, В.М. Кувшиновым и А.М. Рагуцким).

В результате контакта подземных вод с горными породами происходит ионный обмен. Кроме того, метоморфизация ионно-солевого состава шахтных вод происходит под действием кислорода воздуха и легкорастворимых солей шахты (КС1 и NaCl).

Водородный показатель, рН, шахтных вод изменяется в довольно широких пределах от 7 (нейтральная среда) до 2,4 - кислая среда.

О влиянии рН воды на скорость коррозии можно составить представление из графика, показанного на рис. 1. При значениях рН меньше пяти наблюдается резкое увеличение скорости коррозии. Агрессивность шахтных вод по отношению к металлам колеблется в широких пределах (от рН = 7 до рН = 3). Характеристики шахтной атмосферы не принимаются во внимание ни при проектировании, ни при изготовлении, ни при эксплуатации горной техники, т.е. важнейшая характеристика условий эксплуатации горных машин, как правило, выпадает из внимания.

Как показала практика эксплуатации на калийных рудниках РУП «ПО Беларуськалий» применение дизельных самоходных машин не вызывает разрушение кровли и подстильного пласта, не требует дополнительного увеличения сечений выработок, запас мощности позволяет преодолевать как затяжные так и местные подъемы, не требует дополнительных капитальных вложений при удалении участков к периферии шахтного поля.

В зависимости от условий эксплуатации к рудничному подземному самоходному транспорту предъявляются основные требования:

- технические - повышенные прочность и износостойкость, высокое качество и надежность транспортных машин; правильный выбор и минимальное число видов транспорта, своевременную и бесперебойную доставку людей и грузов к горным участкам;
- экономические - обеспечение высоких технико-экономических показателей за счет минимального числа обслуживающего персонала, снижения капитальных и эксплуатационных затрат;
- безопасности - снижение уровня вредных веществ в отработанных газах ДВС и наличие системы их очистки, уменьшение уровня шума и вибрации, источниками которого являются механизмы транспортных машин. Кроме того, к средствам рудничного самоходного транспорта предъявляются повышенные требования безопасности его эксплуатации.

Используемый в настоящее время самоходный транспорт (машины для перевозки людей и грузов) является необходимым элементом в транспортной системе рудника, но имеет ряд недостатков, как со стороны технических параметров, так и по нормам Промсанитарии и техники безопасности.

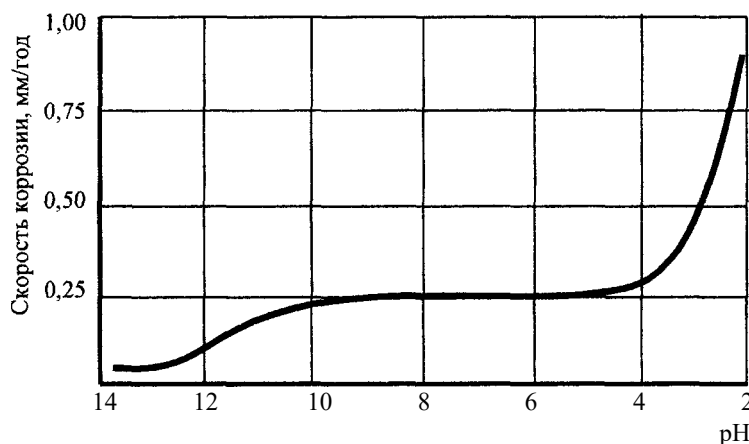


Рис. 1. Влияние pH на коррозию железа в аэрированной мягкой воде при комнатной температуре

Долговечность горных машин и механизмов в значительной мере зависит от правильного выбора смазочных материалов и легирующих присадок к ним [2].

Поэтому выбор масла (смазки), а также в условиях эксплуатации быстро, просто и надежно оценить качество смазочных материалов не менее важный фактор, чем выбор конструкционного материала и вида термообработки для деталей машин.

Опыт эксплуатации оборудования показывает, что если на агрегат монтируется бездефектный подшипник (один из лимитирующих элементов горных машин), то в 40 % выхода подшипника из строя причиной является его некачественная смазка. По данным фирмы Фиат, долговечность двигателей за последние годы увеличилась на 50 % только за счет повышения качества применяемых моторных масел. При этом улучшение качества моторных и трансмиссионных масел позволяет не только существенно увеличить моторесурс двигателей, но и снизить расход моторного топлива.

Смазочный материал следует рассматривать как неотъемлемый элемент сопрягаемых зубчатых колес. Причем, как правило, смазочный материал является лимитирующим элементом, поскольку он наиболее чувствителен к различным внешним воздействиям. Эти воздействия приводят к ухудшению служебных свойств смазки, ее старению.

Вместе с тем весь опыт эксплуатации тяжело нагруженных машин и механизмов свидетельствует, что варьирование составом смазочных веществ наряду с технологическими методами модифицирования физико-механических свойств поверхности есть наиболее эффективный путь управления ресурсом и эксплуатационной надежностью машин. Этот путь не связан с большими капитальными затратами, часто позволяет избежать применения высоколегированных дефицитных сталей, цветных металлов.

Повышенная интенсивность износа пар трения горных машин, приводящая к тому, что вместо расчетной долговечности в 5000 ч некоторые пары трения выходят из строя менее чем за 1000 ч работы, помимо тяжелых условий нагружения и воздействия окружающей среды, обусловлена еще и тем, что изнашивание происходит в два этапа. Первый этап можно назвать латентным (скрытым), на этом этапе происходит разрыхление структуры металла в зоне контакта, приводящее к его разупрочнению. Вызывают этот процесс вибрации, в реальных условиях практически всегда воздействующие на контактное сопряжение деталей. Фрикционное взаимодействие микровыступов при знакопеременном трении с малой амплитудой вызывает волну напряжений в поверхностных слоях. С волной напряжений связано изменение плотности вакансий в поверхностных слоях. В микрообъемах, подверженных растяжению, плотность вакансий оказывается выше, чем в областях сжатия. При движении навстречу друг другу в момент реверса вакансии сливаются, образуя микротрещины. Интенсивность описанного процесса определяется амплитудой волны напряжения, которая зависит от коэффициента трения. Поэтому чем выше коэффициент трения, тем в большей мере оказывается разрыхленной структура металла. При последующей работе (при полном относительном движении) такие предварительно ослабленные (разрыхленные) участки поверхности разрушаются в первую очередь, обуславливая повышенную интенсивность изнашивания.

Варьируя смазку можно добиться того, что малые осцилляции будут не разупрочнять поверхностные слои, а упрочнять их, что приводит к снижению интенсивности изнашивания на порядки величин и резкому повышению долговечности и эксплуатационной надежности.

Как известно, наиболее вероятным режимом смазки пар трения горных машин является граничный режим. Параметры трения и износа при граничном режиме сильно зависят от химического состава смазочного вещества, в то время как вязкость и другие объемные свойства его оказывают малое влияние на параметры граничного трения. Известно, что введение в базовое масло (смазку) поверхностно-активных веществ в виде присадок даже малых количеств (от нескольких десятых долей до 2 %) может очень сильно влиять на параметры трения и износа.

Изнашивание зубьев, как правило, имеет место вследствие недостаточной несущей способности масляного слоя, неизбежного смешанного трения при пусках и остановах, и особенно вследствие попадания в зацепление со смазкой абразивных частиц.

В процессе эксплуатации наблюдается ухудшение качества смазочной среды. Перечислим процессы, приводящие к старению смазочной среды:

- попадание влаги в смазку и масло;
- укрупнение глобул эмульсии «масло - вода» (их коагуляция);
- термомеханическая деструкция молекул смазки в зоне трения;
- обеднение смазочной среды легирующими веществами (срабатывание присадок);
- окислительные процессы нефтепродуктов; биологическое воздействие микроорганизмов.

Известно, что содержание дистиллированной воды в масле в количестве 0,05 % приводит к значительному увеличению износа в гидросистемах, а появление конденсата влаги в масле в виде мелких глобул обычно приводит к коррозии металла. Если эта влага не дистиллированная вода, а агрессивная шахтная, то отрицательный эффект второго фактора будет еще больше.

При контакте масла с воздухом происходит окисление, в результате чего изменяются его физические и химические свойства. Окисление масла стимулируется каталитическим действием воды и металлов, с которыми соприкасается масло, и быстро прогрессирует с повышением температуры. В результате окисления масла повышается его вязкость, плотность, ухудшается маслянистость, образуются растворимые в масле и летучие кислые продукты, обуславливающие коррозионную агрессивность масла, плотные продукты окисления выпадают в осадок, что приводит к потемнению масла. Продукты окисления служат катализатором старения масла.

Многие работы посвящены рассмотрению влияния на изнашивание загрязненности смазочной среды твердыми частицами. Здесь мы хотим подчеркнуть совсем иной аспект, обычно ранее не обсуждаемый. Дело в том, что сами по себе частицы дисперсной соли абразивного действия на металлы, как правило, не оказывают. Однако, имея развитую поверхность (особенно активировавшись в зоне контакта), такие частицы обладают очень высоким адсорбционным потенциалом. Эти частицы адсорбируют на себя молекулы поверхностно-активных веществ из смазочной среды, покрываясь сольватной оболочкой, и могут в виде конгломератов (хлопьев) из ПАВ, в центре которых находится соляная частица, выпадать в осадок. Таким образом, происходит обеднение смазочного вещества легирующими присадками и ухудшение качества смазки (полная или частичная потеря ею смазочной способности). В этом, по-видимому, главным образом и состоит наблюдаемый на шахтах и характеризующийся производственными как «срабатывание» смазок быстрое утрачивание ими начальных эксплуатационных свойств. Поэтому традиционные методы очистки смазочных сред нам представляются делом весьма расточительным. Ведь при этом вместе с твердыми включениями расточается наиболее ценный и, как правило, дорогостоящий компонент смазочной среды - ее легирующие вещества (присадки ПАВ). Поэтому разработка устройства, позволяющего быстро в условиях эксплуатации определять смазывающую способность масел, представляется актуальной.

В настоящее время на рынке появилось много присадок различных типов (органические и синтетические жидкости, комплексные соединения металлов, твердые дисперсные вещества и др.). Поэтому следует иметь в виду, что подбор смазочного материала, выбор присадки к нему, его рецептура должны осуществляться индивидуально с учетом конструкции, условий работы, выполняемой функциональной работы, а также технического состояния машины.

В настоящее время служебные качества смазочных веществ определяются на стендах, имитирующих условия работы пар трения, либо непосредственно в условиях эксплуатации. Однако данные методы проверки качества смазочных материалов связаны с весьма значительными расходами, как правило, малонадежны, сопряжены с выходом из строя испытываемых узлов и машин.

Учитывая большое разнообразие условий эксплуатации пар трения горной техники, предложить

универсальную присадку, эффективную для любых условий, не представляется возможным. Поэтому необходимы экспериментальные методы оценки качества смазочных материалов, эффективности действия присадок.

Наряду с большим количеством присадок в настоящее время появилось большое количество технологических методов модифицирования и упрочнения поверхностей деталей: лазерное упрочнение, ионное азотирование, ионная имплантация, катодная, ионная бомбардировка в вакууме, электроискровое и газотермическое нанесение покрытий, диффузионные химико-термические методы и др. Каждый из указанных технологических процессов имеет области наиболее рационального применения. Наиболее неблагоприятным режимом пар трения горных машин является режим знакопеременных проскальзываний с малыми амплитудами, который и приводит к повышенной интенсивности изнашивания. Поэтому при разработке экспериментального метода оценки качества смазочных веществ и защитных покрытий нужно исходить из необходимости моделирования таких колебательных воздействий.

Чисто практический аспект в необходимости создания экспресс-метода смазочной способности состоит в том, что, во-первых, известно, что ресурс машины в значительной мере зависит от качества смазочного материала, а с другой стороны - в процессе эксплуатации и хранения свойства смазочной среды могут претерпевать сильные изменения в результате старения и «срабатывания» присадок.

Качество рабочих жидкостей и смазочных материалов сильно варьируется в зависимости от партии выпуска и изменяется при хранении и транспортировании, поэтому особое значение имеет их входной контроль качества. В настоящее время стандартизированы следующие методы контроля: вязкости, температуры вспышки и застывания, примесей различных прочих загрязнений, содержание воды, стабильности против окисления, коррозионного воздействия на металлы, контроля воздействия на резиновые элементы. Однако главное служебное свойство смазочных материалов - их смазочная способность, как правило, не контролируется. Перечисленные же показатели к смазочной способности имеют либо малое отношение, либо вообще никак не влияют. Перечисленные методы в большинстве своем трудоемки, длительны, могут производиться только в специализированных лабораториях, мало надежны.

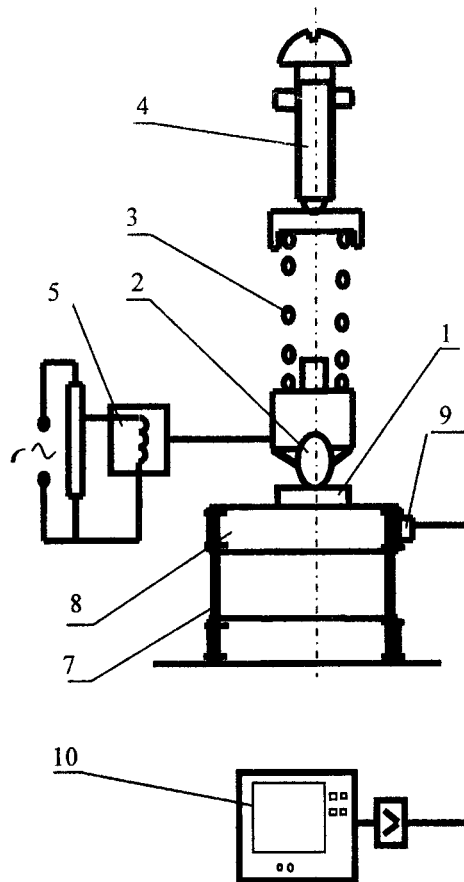


Рис. 2. Принципиальная схема переносного триботестера

При разработке вибрационного метода измерения трения мы исходили из следующих требований:

- моделировать самый опасный режим работы конкретной пары трения в некотором механизме - граничный режим смазки в условиях реверсивного смещения с малыми амплитудами, но не пытаться воспроизвести условия ее работы;
- возможность в широких пределах изменять внешние факторы воздействия: величину контактных давлений, амплитуду смещения и др.;
- возможность проведения испытаний на образцах из различных материалов и при наличии различных покрытий на них;
- использование малых количеств смазочных веществ в качестве проб;
- приспособленность к шахтным условиям и технологичность контроля;
- возможность диагностирования и мониторинга свойств смазочных веществ и рабочих жидкостей в процессе работы и при хранении.

Применение портативного прибора для оценки смазочных веществ позволяет в условиях эксплуатации быстро и надежно определять качество смазочных материалов, так как смазочное вещество - это лимитирующий, наиболее быстро «стареющий» элемент триботехнической системы, определяющий ресурс горных машин. Решить экономически и технически важную задачу о своевременности замены масла в узлах трения горных машин, выбор смазочного материала для обкатки редукторов и других механизмов с целью получения максимального эффекта приработки, контроль качества смазки после хранения, а также оценки масел при их регенерации.

Конструкция и принцип работы переносного устройства. Нижний образец 1 (рис. 2) с плоской рабочей поверхностью устанавливается в оправке, укреплен на столике 8, который с помощью тензометрических консолей 7 крепится к основанию прибора. Контртело 2 представляет собой сферу, которая прижимается с заданным усилием Q к нижнему образцу. Регулировка усилия осуществляется винтом 4 путем сжатия (ослабления) тарированной пружины 3. Контртелу с помощью вибратора 5 задаются колебания регулируемой частоты и амплитуды. Трение контролируется по микроперемещениям столика с нижним образцом, которые регистрируются пьезоакселерометром 9, сигнал которого после преобразования фиксируется вибротестером 10.

Таким образом, правильный выбор и своевременная замена смазочных материалов повышает эффективность и срок службы зубчатых передач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кораблев А.И., Решетов Д.Н. Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач. - М: Машиностроение, 1968. - 290 с.
2. Семена П.В., Зислин Ю.А. Редукторы горных машин. Конструкции, расчет и испытания. - М.: Недра, 1990.-237 с.