

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 622.23.05:621.833

С.Н. Ковальчук

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА РЕДУКТОРОВ ГОРНЫХ МАШИН

Технический уровень, качество и надежность редукторов горных машин зависят от многих факторов, которые условно можно разделить на две группы: факторы, обусловленные в основном специфическими условиями эксплуатации подземных горных машин, и факторы, зависящие от конструктивных особенностей машины и ее привода.

Горные машины, как известно, работают в весьма тяжелых условиях, связанных с высокой динамичностью действующих нагрузок, ограниченностью габаритов, запыленностью рудничной атмосферы, агрессивностью шахтных вод.

Опыт работы горных машин и экспериментальные исследования, проводимые в условиях эксплуатации, показывают, что нагрузки в различных их элементах не являются постоянными, а изменяются с переменными частотами и амплитудами. Главным источником возмущений в горных машинах является процесс взаимодействия их исполнительных органов с разрушающим массивом или транспортируемым материалом.

Для выемочных и проходческих комбайнов, струговых установок, буровых машин эти возмущения, представляющие собой силы сопротивления горных пород разрушению, определяются различными факторами: случайному характером изменения прочностных свойств горных пород на различных участках горного массива, присутствием и случайному характером распределения твердых включений или трещин в теле массива, неравномерностью перемещения машины, физикой процесса разрушения, которая в свою очередь, зависит от конструкции исполнительного органа (число заходов шнека или лопастей буровой коронки, наличия и расположения погрузочных окон, числа и геометрии резцов, схема их расположения на исполнительном органе и т.д.) и режима разрушения массива (толщина стружки, скорость разрушения). Кроме того, если исполнительные органы одновременно с разрушением производят погрузку отбитой горной массы, то силы сопротивления разрушению суммируются с силами сопротивления погрузке.

Основными источниками возмущений для погрузочных машин непрерывного и циклического действия (с нагребающими лопатами и ковшовых) являются процесс погрузки (определенный в первую очередь случайному характером изменения

размеров и объема погружаемого материала), конструкция и кинематика исполнительного органа (размеры и конфигурация нагребающих лап или ковша, траектория их движения), режим работы.

Для скребковых и ленточных конвейеров наиболее характерными источниками возмущения принято считать нагрузки, возникающие при погрузке и транспортировке отбитой горной массы (случайный характер поступления материала и его распределение на полотне конвейера). На формирование нагрузок также оказывают влияние конструкция конвейера (длина, число приводов, наличие гидромуфт, размеры погрузочного желоба, число зубьев, звездочек и т.д.), горногеологические условия, угол наклона конвейера, влажность материала.

Кроме того, типичными источниками возмущения являются причины: разного рода кинематические несовершенства (кинематика цепных и зубчатых передач); кинематические несовершенства, возникающие из-за погрешностей изготовления и монтажа различных элементов (зубчатых передач, валов, подшипников, корпусов редукторов); нестабильность характеристик источников энергоснабжения (напряжения электросети), из-за чего ток и момент на валу электродвигателя могут меняться в широких пределах; зависимость от оператора, управляющего машиной (его способности быстро и безошибочно ориентироваться в обстановке, профессиональной интуиции).

Суммарное действие указанных факторов обуславливает основную особенность горных машин – неупорядоченный, стохастический характер нагрузок, действующих в их элементах.

Из-за стесненности рабочего пространства габариты редукторов горных машин сильно ограничены. Это послужило причиной применения ведущих шестерен с уменьшенным числом зубьев (11 вместо 16–17), высоких контактных напряжений зубьев шестерен ($20000\text{--}30000 \text{ кг}/\text{см}^2$ по Герцу) и других конструктивных решений, оказывающих отрицательное влияние на долговечность редукторов. Кроме того, стесненность рабочего пространства значительно усложняет проведение своевременных осмотров и текущих ремонтов, снижает их качество. На замену отказавшего узла тратится в 3–5 раз больше времени, чем на проведение таких же работ в условиях ремонтного за-

вода.

В процессе разрушения горных пород в зоне резания происходит интенсивное пылеобразование. Несмотря на принимаемые меры по пылеподавлению и защите подвижных соединений, мельчайшие частицы пыли проникают в эти сопряжения, а дальше в смазку редукторов. В смазке редукторов забойных машин содержится 2-10% механических примесей, а в некоторых случаях их количество достигает 20-30%.

Уголь по сравнению с горными породами и минералами обладает низкой абразивной способностью. Петрографические составляющие угля имеют твердость 27-425 кг/мм². В бурых углях, каменных и антрацитах они присутствуют в разных сочетаниях. С ростом микротвердости углей растет их абразивная способность. Наличие твердых минеральных включений повышает абразивность углей, так как твердость включений колчедана и кварца доходит до 1000 кг/см².

В процессе разрушения пыль образуется не только из угля. В ней присутствуют составляющие прослоек и включений. Поэтому механические примеси в смазке редукторов, как показали исследования, в своем составе имеют: уголь 80-90%, песок 10-20%, а так же другие составляющие.

Пыль, проникающая в подвижные соединения и смазку редукторов, по-разному влияет на интенсивность изнашивания деталей. Если твердость абразива значительно выше твердости изнашиваемых металлов, тогда интенсивность изнашивания не изменяется с ростом твердости абразива. В то же время интенсивность резко снижается с увеличением разницы твердости абразива и металла, если твердость абразива ниже. При исследовании механических примесей в смазке редукторов на износ цементируемых зубчатых колес было установлено, что абразивные свойства углей возрастают прямо пропорционально содержанию в них свободного кремнезема. Это объясняется тем, что из всех составляющих только кремнезем имел твердость выше твердости цементируемого слоя.

Рабочая среда, в которой эксплуатируются горные машины, обычно имеет повышенную влажность, в основном обусловленную, присутствием шахтных вод и действующей системой орошения. Проникновение воды в выработки объясняется различными причинами.

Обычно источниками шахтных вод являются водоносные горные породы. В одном случае воды проникают в выработку непосредственно из водоносного пласта (при пересечении выработкой водоносных горных пород), в другом – по трещинам, образующимся в боковых породах при обрушении в выработанном пространстве. Шахтные воды отличаются большим разнообразием химического состава. В зависимости от химического состава шахтные воды принято разделять на неагрессивные, щелочные и кислые.

При исследовании смазки редукторов во всех

случаях было установлено присутствие воды. В редукторы шахтная вода проникает при осмотрах и ремонтах в забое, а так же из-за несовершенства уплотнительных устройств.

В порах и трещинах угольных пластов и боковых пород содержатся газы, которые выделяются в горные выработки. Образование газов происходило в процессе превращения растительного материала в торф и уголь. В процессе метаморфизма углей происходит частичное превращение легких и менее термостойких его фракций в газы, главным образом, в метан, поэтому газоносность возрастает у более метаморфозных углей. Наряду с метаном в рудничную атмосферу выделяются и другие разнообразные по своим свойствам газы: углекислый газ (CO_2), сероводород (H_2S), сернистый газ (SO_2) и ряд других. Одни из них взаимодействуют с металлом оборудования, образуя тончайшую пленку на поверхностном слое из веществ, содержащихся в окружающей среде, другие создают опасность взрыва. В связи с опасностью взрыва ужесточаются требования к чистоте и точности некоторых деталей оборудования.

Таким образом, перечисленные факторы приводят к разрушению деталей горных машин. При этом самым характерным видом повреждения в редукторах является износ.

Износ представляет собой процесс постепенного изменения размеров деталей при трении, проявляющийся в отделении частиц с поверхности трения, а также остаточной деформации материала. Интенсивный износ элементов трансмиссии наблюдается вследствие недостаточной несущей способности масляного слоя и неизбежного смешанного трения при пусках и остановках. Динамика нагрузки в свою очередь также ведет к интенсификации износа.

Износ может быть нормальным (естественным) и аварийным (преждевременным). Нормальный износ происходит в результате длительной работы машины под воздействием сил трения. Аварийный износ происходит в значительно меньшие сроки, чем нормальный, и вызывается нарушением режимов работы машин, отсутствием смазки и неправильным ее выбором, некачественным ремонтом, дефектами деталей (раковины, трещины и т.д.), усталостными явлениями в металле, неправильным монтажом машин.

Числовой мерой изнашивания является износ, определяемый в единицах длины, объема или массы. Изнашивание считается чрезмерным при возникновении и развитии повышенного шума, значительных динамических нагрузок или значительного уменьшения толщины зуба, которое может привести к его излому. Для цементированных зубчатых колес предельный износ составляет 0,8 толщины цементированного слоя, способной выдержать передаваемую нагрузку.

ГОСТ 27674-88 устанавливает следующие виды и разновидности изнашивания деталей машин.

Механическое – происходит в результате механических воздействий взаимно перемещающихся поверхностей деталей, а также абразивного воздействия на них посторонних твердых частиц или продуктов износа. По физическому характеру процесса различают адгезионное, абразивное (гидро- и газоабразивное), полирование, усталостное, при фреттинге, при заедании.

Коррозионно-механическое – происходит при трении материала, вступившего в химическое взаимодействие со средой. В том числе химическое (окислительное) и изнашивание при фреттинг-коррозии.

Эрозионное – процесс накопления повреждений в поверхностном слое под действием радиационных излучений или электрических разрядов. В результате отдельные объемы материала расшатываются и образуются трещины и выкрашивания фрагментов или целых слоев. Различают кавитационное, гидро- и газоэрзационное, радиационно- и электроэрзационное изнашивание.

Для редукторов горных машин наиболее характерны следующие разновидности изнашивания: адгезионное, абразивное, усталостное, при заедании, окислительное, при фреттинг-коррозии.

Адгезионное изнашивание – процесс, возникающий при взаимодействии микронеровностей контактирующих поверхностей деталей. В результате действия высоких локальных давлений и межатомных сил сцепления происходит соединение микронеровностей, так называемая «холодная сварка» контактирующих поверхностей, последующая пластическая деформация, разрушение локальных сцеплений и, в конечном счете, удаление или перенос металла. Адгезионное изнашивание характерно для всех контактирующих поверхностей деталей редукторов.

Абразивное изнашивание – процесс удаления или смешения материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или частиц, присутствующих в смазке или попавших между рабочими поверхностями контактирующих деталей. В основе абразивного изнашивания лежат процессы микрорезания с отделением стружки и появлением царапин вследствие пластической деформации зерен, которая сопровождается образованием отесненных навалов впереди движущейся частицы. Эти навалы состоят из непрочного материала с большим числом трещин и надрывов. Вновь наносимые царапины вызывают разрушение навалов с отделением частиц металла. Внешне абразивное изнашивание характеризуется наличием царапин или углублений. Процесс абразивного изнашивания протекает более интенсивно в жидкой и газообразной средах. Агрессивность среды увеличивает интенсивность изнашивания. Абразивному изнашиванию подвержены практически все элементы редукторов: зубчатые колеса, валы, подшипники, корпуса, уплотнения.

Адгезия и абразивный износ могут вызвать

интерференцию (взаимное внедрение) профилей зубьев зубчатых колес. Характеризуется такой вид износом на головке зуба одного из сопряженных колес или на ножке зуба другого сопряженного колеса в результате взаимного царапания зубьев колес. Данный вид изнашивания наблюдается при неправильном сопряжении зацепляющихся зубьев вследствие погрешностей рабочих профилей зубьев, недостаточного размера радиального зазора, погрешностей углового расположения зубьев, шага зубьев или межосевого расстояния.

Усталостное изнашивание проявляется в результате повторного деформирования микрообъемов материала при длительном циклическом нагружении, которое приводит к возникновению трещин и отделению частиц. Особенностью таких частиц является увеличение размеров до 20...50 мкм при увеличении соотношения между линейным размером и толщиной до 30 мкм, а также сквозные отверстия в частицах износа. Усталостное изнашивание характерно для зубьев зубчатых колес, беговых дорожек подшипников качения.

Изнашивание при заедании происходит при отсутствии или недостаточном количестве смазки и выражается в схватывании, глубинном вырывании материала, переносе его с одной поверхности трения на другую, образовании при этом неровностей (задиров – широких и глубоких борозд в направлении скольжения) и воздействии возникших неровностей на сопряженные поверхности. Заедание наблюдается в том случае, когда смазочная пленка между контактирующими поверхностями разрушается и возникает контакт чисто металлических поверхностей. Такое явление часто возникает в момент пуска под нагрузкой. Это повреждение характерно для зубьев зубчатых колес (конических и гипоидных в большей степени), подшипников скольжения.

При окислительном (химическом) изнашивании в результате взаимодействия материала с кислородом или окисляющей окружающей средой происходит образование защитных пленок на поверхностях трения, последующее растрескивание и разрушение этих пленок. Иногда износ проявляется в виде красновато-коричневых следов ржавчины, а на рабочих поверхностях металла появляются мелкие осповидные раковины и происходит окисление границ кристаллов. Возникновение коррозийных раковин может способствовать развитию выкрашивания или зарождению усталостных изгибных трещин. Наличие воды в смазке может значительно сократить срок службы передачи, вызывая водородное охрупчивание, способствующее ускоренному развитию усталостных трещин. Отделяющиеся частицы ржавчины способствуют ускоренному развитию абразивного износа. Данное изнашивание наблюдается на самых разных деталях машин, работающих в подземных условиях.

Изнашивание при фреттинг-коррозии проис-

ходит при малых колебательных перемещениях плотно контактирующих поверхностей при наличии коррозии. Для возбуждения фреттинг-коррозии достаточны относительные перемещения поверхностей порядка 0,025 мкм. В этих условиях смазка выжимается из области контакта, и оксидные пленки на контактирующих поверхностях разрушаются. Повреждение этого вида состоит в образовании и отделении мелкодисперсных частиц оксидов. Является типичным для таких элементов конструкций, как посадочные поверхности корпусов, зубчатых колес, валов, втулок, стаканов, а также болтовые, штифтовые и заклепочные соединения.

Таким образом, элементы трансмиссии горных машин постоянно работают в режиме интенсивного износа, который зависит от большого

количества эксплуатационных и конструктивных факторов. Каждый из этих факторов изменяется в значительных пределах и присутствует в любых случайных сочетаниях. Поэтому долговечность деталей, узлов и машины в целом целесообразно устанавливать статистическими методами исследования.

Для повышения срока службы редукторов горных машин необходимо использовать оптимальный подбор коэффициентов смещения производящего исходного контура зубчатых колес. Из опыта известно, что чем выше точность изготовления колес, валов и корпусных деталей, тем выше долговечность редуктора. Однако необходимо руководствоваться соотношением цены и качества, которые приемлемы для заказчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенча П.В., Зислин Ю.А. Редукторы горных машин. Конструкции, расчет и испытания. – М.: Недра, 1990. – 236 с.
2. Русихин В.И. Эксплуатация и ремонт механического оборудования карьеров. – М.: Недра, 1982. – 213 с.
3. Дефекты зубчатых передач редукторов / Маликов А.А., Лихошерст В.В., Шалобаев Е.В. // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Спектр, 2011. – №9 (174) – приложение.

†Автор статьи:

Ковальчук
Светлана Николаевна
ст. преп. каф. технологии машино-
строения КузГТУ
E-mail: ksntma@mail.ru

УДК 62-235:629.353+629.3.083.4

Ю.А. Власов, Н.Т. Тищенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗНАШИВАНИЯ РЕДУКТОРОВ МОТОР-КОЛЕС АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ ПО ПАРАМЕТРАМ РАБОТАЮЩЕГО МАСЛА

Кафедрой «Автомобили и тракторы» Томского государственного архитектурно-строительного университета были проведены исследования технического состояния РМК автосамосвалов БелАЗ-7519, -75191 в условиях эксплуатации ОАО «Разрез Киселевский» Кузбасса.

При выполнении этих исследований была применена оценка технического состояния РМК методом ЭСАМ на базе информации, заключенной в пробах работающего масла [1, 2]. Вместе с тем, дополнительная информация от методов инструментальной диагностики позволила применить комплексный подход к оценке технического состояния РМК. Статическая нагруженность определялась величиной суммарных угловых зазоров (люфтов) $\Delta\phi$ зубчатого зацепления первого и второго ряда планетарной передачи РМК в целом [3].

Закономерности процесса изнашивания РМК выражаются корреляционной связью между химическими элементами, циркулирующими с работающим маслом, а зависимости между химиче-

скими элементами состава деталей и продуктов загрязнения можно подразделить на 3 группы:

I группа – между элементами износа и загрязнения масла: $Fe=f(Si)$, $Cu=f(Si)$, $Cu=f(Fe)$;

II группа – между элементами загрязнения масла, попадающими с дорожной пылью: $Al=f(Si)$;

III группа – между элементами, входящими в состав конструкционных материалов трущихся деталей: $Fe=f(Cr)$, $Fe=f(Ni)$, $Ni=f(Cr)$, $Pb=f(Cu)$.

Для анализа закономерностей процессов изнашивания, первоначально определяется качественный состав дорожной пыли в данных условиях эксплуатации, т.е. II группа зависимостей.

Химический состав атмосферной пыли, в основном состоит из окислов Si и Al . Аналитическое выражение зависимости между концентрациями $Al-Si$ в работающем масле РМК описывается уравнением: $Al = 0,423Si - 6,97$.

Высокое значение коэффициента корреляции $r=0,96$ свидетельствует о достаточно тесной, близ-