

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КИНЕТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Докт. техн. наук ИВАШКО В. С., канд. техн. наук КУРАШ В. В., инж. КУДИНА А. В.

*Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»*

Износ трущихся тел следует рассматривать как суммарный результат одновременного протекания элементарных актов разрушения и изменения свойств материала, природа которых разнообразна. Эти действия определяют многообразие видов изнашивания, имеющих место на одной и той же контактной площадке в любой заданный момент времени. Однако для каждой конкретной пары трения и выбранных режимов нагружения характерен ведущий (доминирующий) вид изнашивания, определяющий интенсивность протекания процесса. Наряду с ведущим имеют место сопутствующие виды изнашивания.

Математическое описание процесса механического истирания базируется, как правило, на одном из физических явлений. Это явление может быть основным, но в реальных узлах оно не определяет полностью сопротивление сопрягаемых материалов изнашиванию. Поэтому чаще всего не происходит полное совпадение расчетных значений интенсивности изнашивания с данными, полученными экспериментально для реальных узлов трения. Многообразие причин износа трущихся тел привело к разработке большого числа классификаций видов изнашивания, каждая из которых различается принципом, положенным в ее основу.

В узлах и механизмах машин изнашивание является причиной снижения их кинематической точности, возникновения дополнительных динамических нагрузок, потери прочности и разрушения отдельных элементов.

Основная причина изнашивания рабочих поверхностей деталей машин при трении – это воздействие на них различных видов энергии (механической, тепловой, химической, элект-

ромагнитной и пр.), физических полей и сред, а также внешних и внутренних факторов технических систем. Детали изнашиваются и повреждаются от высоких нагрузок и скоростей, кислот и щелочей, микроорганизмов и продуктов их метаболизма, физических полей и элементарных частиц.

В большинстве случаев одна и та же деталь (сопряжение) подвержена одновременному воздействию нескольких факторов, но ведущим будет, как правило, один из них.

Кроме множества внешних факторов, возникающих от воздействия внешних нагрузок и сред, детали машин интенсивно изнашиваются при действии внутренних факторов: усталость материала вследствие перераспределения внутренних напряжений, возникших в процессе структуро- и формообразования деталей, а также коррозия: газовая, межкристаллитная, подповерхностная и пр.

Эти факторы возникают в процессе естественного старения, т. е. стремления материалов возвратиться в равновесное состояние, избавиться от технологической «наследственности». Они приводят к короблению детали, образованию трещин, изменению макро- и микро-размеров отдельных поверхностей, ускоряющих изнашивание, а также к полному разрушению трибоповерхностей.

Трущиеся поверхности деталей контактируют по единичным микровыступам, которые под воздействием приложенных давлений могут расплющиваться, взаимно внедряться и подвергаться различным физическим эффектам. Это приводит к обратимому или необратимому изменению рельефа контактных поверхностей.

Практически для всех материалов контактирование при трении по микровыступам ведет к возникновению на пятнах контакта адгезионных процессов и образованию так называемых мостиков микросварки. Известно, что при трении атомы и молекулы поверхностного слоя находятся в неуравновешенном высокоэнергетическом состоянии и по этой причине способны к активному взаимодействию с атомами материала выступов контртела, молекулами газовой или жидкой окружающей среды, а также с находящимися в окружающей среде микроорганизмами. В первом случае адгезионные эффекты взаимодействия будут более значительными, чем во втором. С позиций кинетики трения и процессов изнашивания определяющим является характер разрушения возникшей адгезионной связи на пятне контакта. Если происходит разрушение этих связей и мостиков микросварки, то повреждаемость микроконтакта осуществляется по усталостным механизмам при постоянном структурном разрыхлении активного слоя. Процесс трения в этом случае следует считать стационарным. Если же разрушение связи происходит на некоторой глубине материала, то изнашивание реализуется катастрофическим механизмом формирования частиц износа, а процесс трения является уже нестационарным [1].

На фактических пятнах контакта поверхностей реализуются весьма высокие давления, сопоставимые с пределами текучести или даже прочности материалов. Эти силовые взаимодействия имеют периодический характер, причем допускается продолжительность соприкосновения микроконтактов от 10^{-7} до 15^{-5} с. Де-

формационно-адгезионные точечные взаимодействия обуславливают разогрев материала контактов на некоторой активной глубине и трущейся поверхности. Сочетание высоких контактных давлений и температур с активной окружающей средой приводит к активации повреждения слоя с существенным изменением его физико-механических свойств. В первом случае активируются субструктурные эффекты и процессы фазовых переходов, происходят развитие дефектов кристаллической структуры (точечных, линейных, а также поверхностных), изменение ориентации зерен и макродефектов, формирование объемных несовершенств (скопление вакансий, полостей разрыва материала). В то же время изменяется фазовое строение, происходят полиморфные превращения, образование и растворение частиц химических соединений, диффузия элементов из одного тела в другое и т. п. Процессы второго направления отражают создание адсорбционных пленок и химических соединений из окружающей среды, формирование микрозон трибохимической биохимической активности частиц материала, переносимого на поверхность контртела [2, 3].

Анализ результатов исследований изнашивания трибоповерхностей, эффектов трансформации структуры, формирования свойств в активном слое материалов позволяет установить определенную взаимосвязь этих процессов. Эта связь (кинетика изнашивания) выражается определенной последовательностью: поверхностное взаимодействие, структурное разупрочнение, поверхностная повреждаемость, механизм изнашивания.

Кинетика изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов представлена на рис. 1.

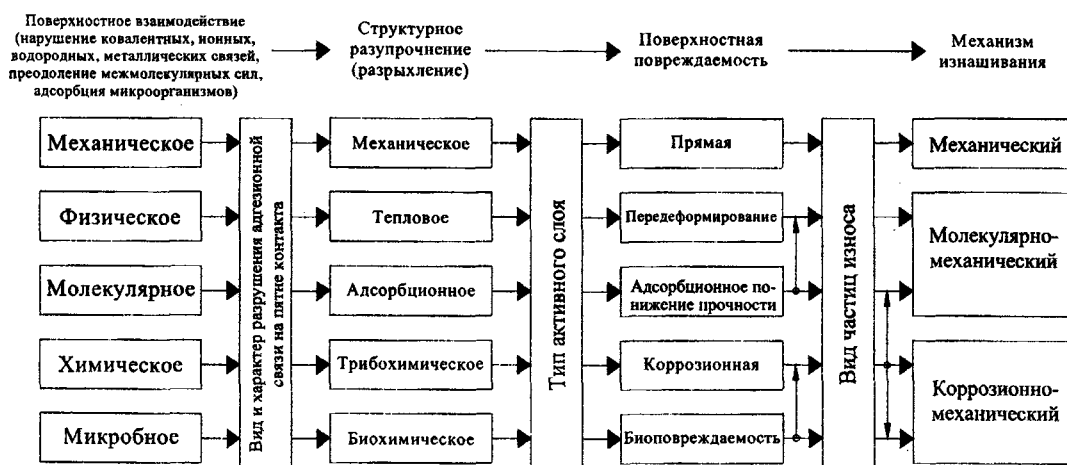


Рис. 1

Высокие микроконтактные давления в сочетании с температурными градиентами, явления адсорбции и адгезии, трибохимических и биохимических превращений предопределяют следующие процессы разупрочнения (разрыхления) материала активного слоя: механические, тепловые, адсорбционные, трибохимические и биохимические, реализуемые для всего комплекса вариантов состояния триботехнических систем.

Представляется перспективным с позиций оценки восприимчивости трущихся материалов к условиям трения различать три этапа в состоянии активных слоев изнашивающихся материалов при формировании механизма изнашивания. Подобная классификация позволяет учитывать все действующие процессы предварительной структурной подготовки активного слоя, а значит, и направление изменения его свойств. Это дает возможность корректно оценивать работоспособность пар трения и получать достоверные расчетные модели для оценки их долговечности.

Механическое разупрочнение возникает в системе трущихся слоев, в первую очередь, от упругопластической деформации материала микроконтактов, активируемой дополнительно тепловыми напряжениями. Этот вид разупрочнения обуславливает формирование дефектов структуры различного уровня и повышения остаточных напряжений. С наибольшей вероятностью при трении происходит образование малоэнергетичных точечных дефектов и, в первую очередь, вакансий. Центрами образования вакансий являются активированные атомы на поверхности материала и границах фрагментов и зерен. Концентрация вакансий в повреждающемся слое может быть на два-три порядка выше, чем при обычных равновесных условиях. Неравномерное распределение вакансий по глубине поверхностного слоя ослабляет адгезионные связи при сохранении уровня когезионных. Это оказывает позитивное влияние на трение. Коагуляция дефектов в процессе их диффузий способствует образованию полостей и пор, снижающих поверхностную прочность материала. При механическом разупрочнении дислокации играют решающую роль в формировании трения и образовании типа активного слоя. Наиболее мощные дислокационные скоп-

ления локализуются на некотором расстоянии от поверхности, при этом закритические плотности дислокаций приводят к формированию микропустот, слияние которых путем роста или сдвига формирует подповерхностные параллельные трещины. Как правило, механическое разупрочнение структуры поверхностного слоя протекает одновременно с процессами разрушения, в большей или меньшей степени активируя их.

Тепловое разупрочнение протекает под действием генерируемой при трении на микроконтактах теплоты или теплоты от внешнего источника. Этот вид разупрочнения связан с изменением физического состояния фаз гетерогенных материалов или их структуры и определяет вид механизма поверхностной повреждаемости. Наиболее существенными физическими явлениями в динамической структуре материала являются частичное разупрочнение кристаллического строения активного слоя и полиморфные превращения. Отмечается уменьшение силы трения при переходе структуры в неупорядоченное состояние. В результате снижается поверхностная энергия, что дополнительно ослабляет когезионные связи. Возможные при тепловом разупрочнении полиморфные превращения влияют на характер взаимодействия трущихся поверхностей. Изменение фазового состояния в активных слоях протекает соответственно заданным температурно-силовым условиям и зависит от активности диффузионных процессов. Температурное разупрочнение способствует формированию полей внутренних напряжений термической или структурной природы. Действующие напряжения могут замедлять или активизировать поверхностную повреждаемость в зависимости от их знака и температурных градиентов.

Трибохимическое разупрочнение характеризуется образованием тонких пассивирующих пленок на поверхности трения в результате трибохимического взаимодействия активного слоя с внешней газовой или жидкой средой. Этот вид разупрочнения характерен для всех режимов трения и наиболее ярко выражен в случае наличия смазочного материала на контактах. Трибохимическая пленка предохраняет приповерхностные сечения активного слоя от механического разупрочнения, а также экрани-

зирует адгезионное взаимодействие трущихся поверхностей. Формирование пленок протекает в две характерные стадии. На начальной стадии в результате взаимодействия адсорбированных атомов кислорода с металлической поверхностью формируется окисел толщиной 3...5 нм; на завершающей стадии трения в результате протекания процессов встречной диффузии атомов, дрейфа вакансий и перемещения электронов и катионов происходит дальнейшее утолщение пленки. Экранирующая роль пленки будет возрастать в том случае, если ее твердость сопоставима с твердостью основного материала. С утолщением активного слоя, как правило, уменьшается его прочность и возрастает вероятность хрупкого разрушения. Кинетика подобных процессов предопределяется химическим родством металлов (базовых) и составляющих компонентов окружающей среды (например, Fe, W имеют химическое родство с O_2 , N_2 , H_2 , CO, а Cu и Al – только с O_2).

Адсорбционное разупрочнение проявляется как молекулярное взаимодействие при высокой нагруженности сопряжений, как правило, с жидкой средой.

Молекулярные силы при наличии либо отсутствии промежуточной вязкой прослойки (влага, загрязнение, смазочный материал и т. п.) вызывают на пятне контакта адгезию. Она возможна между металлами и пленками окислов. Адгезия может быть обусловлена и действием электростатических сил. Силы адгезии, как и молекулярные силы, прямо пропорциональны площади фактического контакта. Для жестких режимов трения без смазочного материала или с ним, когда развиваются высокие температуры, адгезия играет существенную роль в развитии процессов изнашивания и предопределяет эффективный массоперенос в трибосистеме.

Первым признаком адсорбционного разупрочнения и дестабилизации структуры и свойств материала являются снижение твердости и уменьшение работы диспергирования материала в его поверхностно-активном слое. Деформация в значительной степени активизируется в результате адсорбционного понижения прочности. Адсорбированные из внешней среды атомы диффундируют в поверхность к формирующимся при разрыхлении микротрещинам.

Внутренний и внешний адсорбционные эффекты приводят к снижению поверхностной энергии, что вызывает резкий перепад свойств материала по глубине покрытия и обличию выхода дислокаций на поверхность. Поверхностные слои теряют твердость при сохранении исходной пластичности, что определяет ускорение процессов структурного поверхностного разупрочнения (разрыхления).

Биохимическое разупрочнение активного слоя связано с процессами химического взаимодействия поверхностных слоев деталей с микроорганизмами и продуктами их метаболизма. При попадании техногенной среды с микроорганизмами на металл в застойных зонах (микровпадинах) создаются зоны биокоррозионной активности, в которых скорость протекания реакций во многом определяется химическим составом окружающей среды, активностью микроорганизмов и продуктов их метаболизма.

Материал в зонах фактического контакта подвергается импульсному воздействию тепловых и механических нагрузок. Их влияние и локализация в малых объемах вызывают ряд процессов, приводящих к структурным преобразованиям. Тончайший поверхностный слой в зонах контакта насыщается продуктами биохимических превращений, деструкции и метаболизма микроорганизмов. Повышается подвижность макромолекул, происходят разрыв атомных и молекулярных связей и образование активных центров – реакционно способных макрорадикалов, которые взаимодействуют с окружающей средой. Взаимодействуя с металлом и биосредой, они образуют новые структуры, отличающиеся от исходной степенью кристалличности и структурирования [3, 4].

При дальнейшем взаимодействии и нагружении трибоповерхностей происходят фрагментация поверхностного слоя, перераспределение дислокаций (они концентрируются в отдельных микрообъемах, преимущественно на границах зерен) и образование микропустот.

Взаимодействие дислокаций в местах достижения их критической плотности активизирует биокоррозионные процессы, а также проникновение в образовавшиеся микропустоты продуктов поверхностного взаимодействия и биогенной среды. Поверхность трения претер-

певает структурные изменения, что создает благоприятные условия для образования субмикротрещин и микротрещин в структуре поверхностного слоя. Происходит разупрочнение трущихся слоев деталей механических систем.

ВЫВОД

Структурное разупрочнение активных слоев поверхностей при трении под воздействием высоких контактных давлений и температур, процессов адгезии и адсорбции, трибохимических и биохимических взаимодействий приводит к определенной разновидности их повреждаемости: прямой, передеформированию, адсорбционному понижению прочности, коррозионной, биоповреждаемости. Формируется вид частиц износа, которые способствуют стабилизации процесса истирания поверхностей, развитию и интенсификации того или иного

механизма изнашивания: механического, молекулярно-механического и коррозионно-механического.

Характер и кинетика механизма механического истирания определяют его физические закономерности и формируют определенный вид изнашивания поверхностей трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданович П. Н., Ивашко В. С., Прушак В. Я. Триботехника: Курс лекций. – Мн.: БГАТУ, 2001. – 159 с.
2. Ивашко В. С., Кураш В. В. и др. Надежность технических систем: Курс лекций. – Мн.: БГАТУ, 2003. – 153 с.
3. Власов М. В. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. – М.: Машиностроение, 1987. – 304 с.
4. Присевко А. Ф., Кураш В. В., Спиридонов Н. В. Исследование механизма водородного изнашивания деталей узлов трения технологического оборудования производства микробиологического синтеза // Долговечность трущихся деталей машин. – М.: Машиностроение, 1990. – Вып. 5. – С. 216–224.

УДК 656.13

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Канд. техн. наук, доц. КАПСКИЙ Д. В., КОТ Е. Н.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУ ДД) – комплекс технических, программных и организационных средств, обеспечивающих управление (регулирование) движением транспортных и пешеходных потоков в переменном автоматическом или автоматизированном режиме. Переменность во времени управляющих воздействий (смена приоритета, изменение разрешенных направлений движения и ограничений скоростного режима, информация о наличии свободных парковочных мест, указание направления к парковке со свободными местами, разрешение на движение общественному транспорту и т. п.) является одним из основных признаков АСУ

ДД, выделяющих их в ряду других видов технических средств организации дорожного движения (дорожных знаков с постоянной информацией, дорожной разметки, направляющих устройств).

В основном переменные управляющие воздействия обеспечиваются с применением средств светофорной сигнализации. Другие варианты реализации таких воздействий (дорожные знаки с переменной информацией, парковочные табло, информационные панно с метеорологическими датчиками и др.) также постепенно начинают применяться, однако степень их распространенности значительно ниже. По состоянию на конец 2004 г. на улично-