

УДК 621.793

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ОТКАЗЫ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

© 2016 Р.М. Мухаметшина

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Статья поступила в редакцию 28.03.2016

Статья посвящена проблеме трибологической надежности дорожно-строительных машин. Рассмотрены виды и характеристики отказов машин, определяемых трибологическими процессами. Определены общие закономерности водородного изнашивания как специфического вида поверхностного разрушения. Установлены пути наводороживания поверхностей деталей дорожно-строительных машин. На основе изучения закономерностей изнашивания деталей машин сформулированы рекомендации для обеспечения трибологической надежности дорожно-строительных машин.

Ключевые слова: дорожно-строительная машина, трибологический отказ, износ деталей, водородное изнашивание

Наиболее эффективным и экономичным способом увеличения действующего парка машин является повышение их долговечности. Одним из основных повреждающих процессов, снижающих потенциал работоспособности дорожно-строительных машин и оборудования, является интенсивное изнашивание элементов машин. В дорожно-строительном машиностроении отказы машин вследствие износа достигают 70-80% всех отказов, возникающих в процессе эксплуатации машин. В связи с этим вопросам износа деталей, повышению долговечности рабочих органов дорожно-строительных машин уделяется все большее внимание [1-3].

Под трибологической надежностью понимается свойство машины сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции при ее функционировании в условиях трения и изнашивания. В результате процесса изнашивания происходит износ материала, проявляющийся в виде отделения материала с поверхности твердого тела или его остаточной деформации. Характеристиками отказов машин по трибологическим показателям может быть величина износа или ее скорость. Скорость изнашивания  $v_u$  определяется как отношение износа  $h$  к интервалу времени  $t$ , в течение которого он возник (1):

$$v_u = \frac{h}{t}. \quad (1)$$

В качестве показателей трибологической надежности могут использоваться средняя наработка на отказ при изнашивании, срок сохраняемости при износе и др. Нарботка до отказа из-за износа определяется по величине скорости или интенсивности изнашивания. Интенсивность изнашивания характеризуется отношением значения износа к обусловленному пути  $l$ , на котором происходило изнашивание (2):

$$I = \frac{h}{l}. \quad (2)$$

При определенной величине износа, называемого предельным, наступает отказ или предельное состояние машины, после которого ее использование должно быть прекращено. Отказами машин, определяемых трибологическими процессами, могут быть такие события, как:

- разрушение детали из-за износа;

- достижение допустимого изменения массы или толщины металла под действием процесса изнашивания;

- появление износного очага на поверхности изделия;

- превышение допустимого уровня скорости износа и др.

Формирование изнашиваемой поверхности деталей и рабочих органов машин происходит в результате суммирования различных по интенсивности и видам элементарных разрушений, изменений механических и физико-химических свойств поверхности металла под воздействием внешних факторов. Совокупность различных триботехнических процессов определяет вид изнашивания и его интенсивность. Из-за большого разнообразия исходных материалов деталей и рабочих органов машин и условий их эксплуатации существуют различные виды изнашивания поверхностей материалов. Основные виды разрушений рабочих поверхностей деталей и рабочих органов дорожно-строительных машин по трибологическим параметрам могут быть классифицированы следующим образом (рис. 1).

Трибологическая надежность машин формируется и закладывается при проектировании и изготовлении машин и определяется конструктивными особенностями элементов машин, применяемыми материалами, приспособленностью к ремонту и техническим обслуживаниям. Изнашивание деталей дорожно-строительных машин обусловлено различными по своей природе факторами.

Среди основных факторов, влияющих на характер и интенсивность изнашивания элементов машин можно выделить:

а) конструктивные – характер нагружения; вид трения рабочих поверхностей; сочетание материалов деталей сопряжения; наличие защитных покрытий;

б) технологические – методы обработки рабочих поверхностей; качество сборки сопряжений; наличие технологических загрязнений; структура поверхностного слоя металла; микрогеометрические показатели поверхностей трения;

в) эксплуатационные – характер проводимых работ и режимы использования машины; климатические условия работы; состояние смазочных материалов; виды и периодичность технических обслуживаний и ремонтов.

Перечисленные факторы при правильном их учете и применении в процессе конструирования, изготовления и эксплуатации машины могут снизить

Мухаметшина Румия Мугаллимовна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Дорожно-строительные машины». E-mail: rutyua211@yandex.ru

износ ее деталей и повысить долговечность. В большинстве практических случаев процесс износа элементов машин носит сложный характер и одновременно наблюдается несколько видов изнашивания. Одним из

наиболее часто проявляемых процессов разрушения поверхностей при трении является водородное изнашивание, которое проявляется в узлах трения дорожно-строительных машин разных видов.



Рис. 1. Виды изнашивания машин

Установлено, что водородное изнашивание обнаруживается в большей или меньшей степени во всех видах изнашивания [4]. Действие водорода может выражаться в увеличении скорости изнашивания определенного вида или в самостоятельном полном разрушении поверхностей трения. Водородному разрушению подвержены детали из стали, чугуна и других металлических материалов. Вследствие водородного изнашивания часто выходят из строя коленчатые валы двигателей, элементы стальных цистерн, снижается срок службы тормозных накладок, барабанов, дисков сцепления, поршневых колец двигателей [5, 6]. Исследование водородного изнашивания деталей машин находится еще в начальной стадии, поэтому теоретический и практический интерес представляет выявление общих закономерностей водородного изнашивания, а также разработка научных основ борьбы с ним.

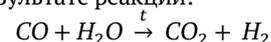
Водородное разрушение деталей машин при трении связано со сложными физико-химическими процессами выделения водорода и взаимодействия его в зоне контакта с трущимися поверхностями деталей машин, зависящими главным образом от применяемых материалов, условий трения и факторов окружающей среды. Большинство узлов трения и рабочих органов дорожно-строительных машин и механизмов работает в условиях постоянного контактирования с обрабатываемой средой на открытом воздухе, подвергаясь воздействию атмосферных осадков, являющихся источником водорода. Поэтому наводороживание поверхностей трения деталей является одним из основных факторов, определяющих износ дорожно-строительной техники.

Практически все поверхности трения деталей содержат повышенное количество водорода. В зоне контакта поверхностей существует большое число способов образования водорода из влаги воздуха, пластмасс, топлива, смазочных материалов и других водородсодержащих материалов и среды. Выделение водорода при трении связано с электрохимическими, трибохимическими процессами, каталитическими и температурными условиями на контакте. Основным источ-

ником образования водорода при трении является вода (рис. 2). В результате различных физико-химических процессов и активации поверхностных слоев в процессе трения происходит образование молекулярного водорода, атомарного водорода или протонов H<sup>+</sup>. Соотношение между этими формами состояния водорода определяется характером внешнего воздействия, а также исходными материалами пар трения и условиями их работы.

Трение, повышая энергию кристаллической решетки металла, приводит к снижению работы выхода электронов и вызывает возникновение экзоелектронной эмиссии. Эмитированные из решетки металла при трении электроны с избыточной энергией гидратируются при столкновении с молекулами воды, что приводит к диссоциативной ионизации молекул воды (рис. 2). Из уравнения диссоциации воды следует, что с увеличением концентрации воды равновесие смещается в сторону образования ионов водорода. В связи с этим влажность воздуха оказывает сильное воздействие на интенсивность водородного изнашивания металлов. Это имеет большое значение для дорожно-строительных машин, эксплуатируемых на открытом воздухе в условиях повышенной влажности [7]. При трении поверхностей различных по природе металлов и сплавов в точках контакта протекают также электрохимические процессы вследствие возникновения разности потенциалов, достаточной для протекания электролиза в водном растворе электролита, содержащего примеси или растворенные газы (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> и др.) [8].

Образование водорода в значительной степени определяется также температурным фактором среды. Так интенсивное изнашивание деталей цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания, дизелей различных строительных и дорожных машин связано с наличием в зоне трения газообразных и жидких продуктов сгорания топлива, что в сочетании с высокой температурой ведет к образованию водорода, например в результате реакции:



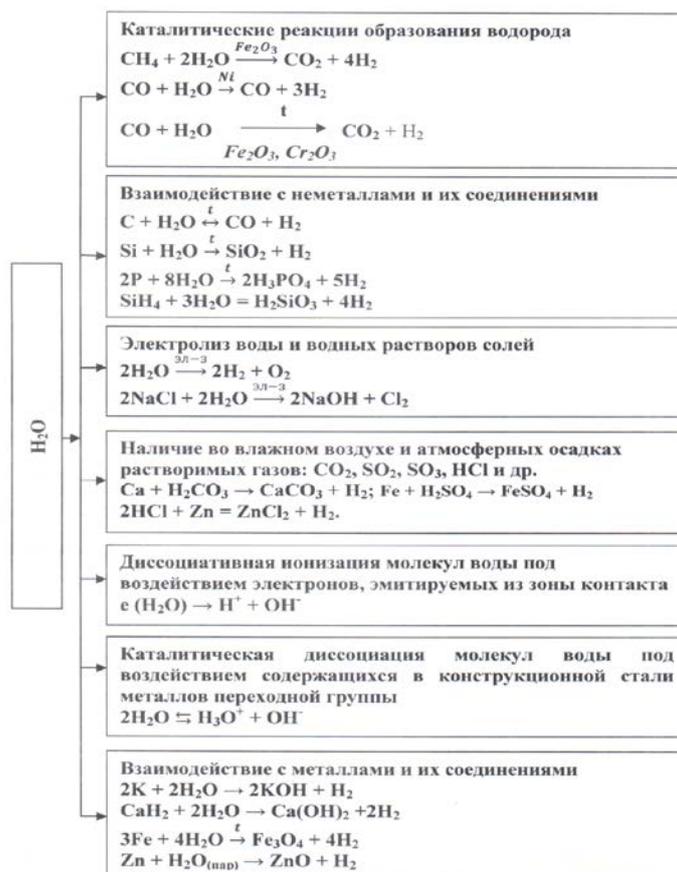


Рис. 2. Физико-химические процессы образования водорода из воды при трибоконтактировании поверхностей деталей

В условиях повышенной температуры в узлах трения машин водород выделяется также из различных эксплуатационных материалов, в том числе из смазочных материалов углеводородного происхождения, применяемых обычно для смазывания элементов дорожно-строительных машин.

В производстве деталей машин применяются различные полимерные композиционные материалы, доля которых в современном дорожно-строительном машиностроении непрерывно увеличивается [9]. Повышение температуры на металлополимерном трибоконтакте инициирует термодеструкцию полимеров с образованием низкомолекулярных предельных и непредельных углеводородов и других промежуточных соединений, в результате дегидрирования которых выделяется водород.

Процесс водородного изнашивания интенсифицируется во влажном и холодном климате. Одной из причин быстрого изнашивания дорожно-строительной техники, эксплуатируемой в Сибири и северных районах страны, где в течение длительного времени техника контактирует в процессе работы с мерзлыми грунтами, является интенсивное трибоаводороживание. Вследствие значительного перепада температур водород при низких температурах не рассасывается в поверхностных слоях, а концентрируется между зоной трения и объемом материала трущейся детали. Интенсивность изнашивания ножей бульдозера, зубьев экскаватора, рыхлителей и других деталей при разработке грунтов в условиях действия низких температур превышает в несколько раз значения, фиксируемые при положительных температурах.

При работе дорожно-строительных машин отдельные детали имеют непосредственное соприкосновение с грунтом, например ножи бульдозеров, скреперов и автогрейдеров, детали гусеничного хода и др. Свежие поверхности разрушения режущих элементов рабочих органов землеройно-транспортных и других дорожно-строительных машин (например, царапины от минеральных частиц грунта) способны наводороживаться по механизму каталитического разложения молекул воды. Поэтому наряду с абразивным изнашиванием детали дорожно-строительных машин, работающих в тяжелых условиях грязи и пыли, в значительной степени подвергаются водородному изнашиванию.

Механизм водородного изнашивания деталей машин характеризуется рядом последовательных процессов, протекающих в зоне трения контактирующих поверхностей (рис. 3). Водородные атомы вследствие малых размеров обладают высокой подвижностью и большой проникающей способностью. Возникающие при деформации поверхностного слоя материала неравновесные процессы, градиенты температур и напряжений способствуют диффузии водорода в поверхностные слои и в объем материала элементов пары трения. Выявление механизма водородного изнашивания деталей машин позволяет сформулировать основные способы защиты от трибоаводороживания. Торможение процесса проникновения водорода может осуществляться покрытием активных участков поверхности слоем нейтральных молекул. Эффективным способом защиты от водородного износа является введение в состав композиционных материалов оксида меди (II), что приводит в результате взаимодействия его с водородом к образованию медной пленки, являющейся барьером для проникновения водорода.



Рис. 3. Этапы водородного изнашивания деталей машин

В смазочные материалы вводят специальные добавки – ингибиторы проникновения водорода, уменьшающие возможность наводороживания. Для предотвращения каталитического дегидрирования углеводородов и их производных используют вещества, обладающие большей адсорбционной способностью по отношению к поверхности трения, чем компоненты смазки. Водородное изнашивание может быть снижено также уменьшением температуры в зоне контактирования поверхностей деталей машин.

Проблема обеспечения трибологической надежности является одной из первоочередных при создании и эксплуатации дорожно-строительных машин и оборудования. Закономерности, характеризующие повреждающие процессы в материалах деталей машин и приводящие к изменению их начальных свойств, являются основой для прогнозирования их трибологических характеристик. Анализируя процессы изнашивания, возникающие при трибоконтактировании элементов дорожно-строительных машин, можно заключить, что изнашивание определяется не столько механическим взаимодействием поверхностей трения, сколько водородной хрупкостью поверхностного слоя. Степень наводороживания обуславливается действием факторов внутренней и внешней среды и может ускорить изнашивание деталей машин в несколько раз. Обеспечение трибологической надежности машин является сложной задачей, для решения которой необходимо проведение комплекса конструкторских,

технологических, эксплуатационных и организационных мероприятий на всех этапах жизненного цикла машины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Густов, Ю.И. Триботехника строительных машин и оборудования: монография. – М.: МГСУ, 2011. 197 с.
2. Густов, Ю.И. Исследование конструктивно-технологических и эксплуатационных показателей строительной техники // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 470–475.
3. Гребенникова, Н.Н. Оптимальная стратегия эксплуатации машин // Вестник развития науки и образования. 2014. № 3. С. 25–29.
4. Браун, Э.Д. Современная трибология: Итоги и перспективы / Э.Д. Браун, И.А. Буяновский, Н.А. Воронин. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 480 с.
5. Astakhov, V. Tribology of Metal Cutting: Tribology Series. – Elsevier Science Ltd. 2006. Vol. 52. 392 p.
6. Biresaw, G. Surfactants in Tribology / G. Biresaw, K. Mital // Vol.3 PDF Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, 2013, XVII.
7. Мухаметшина, Р.М. Влияние климатических факторов на свойства материалов и надежность машин // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 490–495.
8. Мухаметшина, Р.М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии // Известия КГАСУ. 2013. № 4 (26). С. 403–408.
9. Баурова, Н.И. Диагностирование и ремонт машин с применением полимерных материалов: монография. – М.: ТехПрограмЦентр, 2008. 280 с.

## TRIBOLOGICAL FAILURES OF ROAD-BUILDING MACHINES

© 2016 R.M. Mukhametshina

Kazan State Architectural and Construction University

Article is devoted to a problem of tribological reliability of road-building machines. Types and characteristics of machine failures determined by tribological processes are considered. The general regularities of hydrogen wear as specific type of superficial destruction are defined. Ways of hydrogenous impact of surfaces of road-building machines details are established. On the basis of studying the regularities of wear of machines details the recommendations for ensuring tribological reliability of road-building machines are formulated.

Key words: road-building machine, tribological refusal, wear of details, hydrogen wear

Rumiya Mukhametshina, Candidate of Chemistry, Associate Professor at the Department "Road and Building Machines". E-mail: rumiya211@yandex.ru