

УДК 625.08

**Мухаметшина Р.М.** – кандидат химических наук

E-mail: [rumya211@yandex.ru](mailto:rumya211@yandex.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

### **Водородное изнашивание деталей дорожно-строительных машин**

#### **Аннотация**

В статье анализируются особенности водородного изнашивания деталей дорожно-строительных машин.

Рассмотрены общие закономерности водородного изнашивания как специфического вида поверхностного разрушения. Установлены пути наводороживания поверхностей деталей дорожно-строительных машин. Обсужден механизм водородного изнашивания.

На основе изучения закономерностей водородного разрушения деталей машин и оборудования сформулированы способы защиты от трибонаводороживания.

**Ключевые слова:** водородное изнашивание, дорожно-строительные машины, наводороживание, износ деталей.

Одной из самых острых проблем при создании высокопроизводительной дорожно-строительной техники с повышенными техническими характеристиками является интенсивное изнашивание деталей машин и оборудования. Большинство дорожно-строительной техники выходит из строя не по причине поломки, а вследствие преждевременного износа и повреждения поверхностей деталей и рабочих органов машин.

Повышенный износ деталей приводит к снижению мощности двигателя, тяговых качеств дорожно-строительных машин, нарушает нормальное взаимодействие деталей в узлах. В результате изнашивания рабочих органов машин уменьшается производительность, повышается расход энергии. Нарушение нормальных условий работы деталей и узлов приводит к необходимости их ремонта. Большие затраты на ремонт и огромная его трудоемкость определяют экономическую значимость проблемы износа машин. В связи с этим вопросам износа деталей, повышению долговечности строительных и дорожных машин уделяется большое внимание [1, 2].

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.

Одним из наиболее часто проявляемых процессов разрушения поверхностей при трении является водородное изнашивание, которое обнаруживается в узлах трения дорожно-строительных машин разных видов. Установлено, что водородное изнашивание проявляется в большей или меньшей степени во всех видах изнашивания [3]. 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 [4, 5].

Изучение водородного изнашивания деталей машин находится еще в начальной стадии, поэтому научный и практический интерес представляет определение 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 трибохимическими, электрохимическими процессами, температурными и каталитическими условиями на контакте.

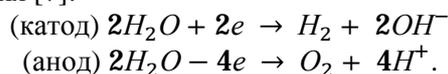
Основным источником образования водорода при трении является вода (рис. 1). В результате различных физико-химических процессов и активации поверхностных слоев в процессе трения происходит образование молекулярного водорода, атомарного водорода или протонов  $H^+$ . Соотношение между этими формами состояния водорода определяется характером внешнего воздействия, а также исходными материалами пар трения и условиями их работы.



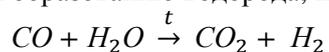
Рис. 1. Физико-химические процессы образования водорода из воды при трибоконтактировании поверхностей деталей

Трение, повышая энергию кристаллической решетки металла, приводит к снижению работы выхода электронов и вызывает возникновение экзоэлектронной 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. 1). 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 [6].

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 ( $CO_2, SO_2, SO_3$  и др.). При контакте поверхностей металла с атмосферной влагой происходит обычная электрохимическая коррозия [7]:



Образование водорода в значительной степени определяется 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:



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 увеличивается [8]. 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.

В поверхностном слое твердого тела при трении в результате механического воздействия происходят разрывы химических связей кристаллической решетки, возникают микроразрушения, нарушается сплошность материала. Образующиеся свежие поверхности разрушения твердого материала имеют свободные нескомпенсированные химические связи с активными центрами, являются неравновесными и по своим свойствам сильно отличаются от обычной поверхности. Содержащиеся в конструкционной стали металлы переходных групп (Cr, Ni, Mn и др.) способны при этом катализировать процессы диссоциации молекул воды.

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.

Таким образом, на поверхности трения в зоне контакта деталей машин возможно протекание различных физико-химических процессов, приводящих к образованию водорода.

Механизм водородного изнашивания деталей машин характеризуется рядом последовательных процессов, протекающих в зоне трения контактирующих поверхностей (рис. 2). Выделяющийся водород адсорбируется на поверхностях трения, например в результате десорбции смазочного материала из-за повышения температуры в зоне трения. В процессе трения атомы водорода постепенно занимают освободившиеся от молекул смазки места на поверхности, так как температура десорбции водорода намного выше температуры десорбции смазки. 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.

Распределение водорода в материале в значительной степени зависит от несовершенства кристаллической структуры. Проникая в дефекты структуры, например в зародышевые трещины, атомы водорода при соударении образуют молекулярный водород, диаметр которого намного больше размера атомарного водорода. Реакция образования атомарного водорода сопровождается выделения значительного количества теплоты, которая стимулирует и другие химические процессы с созданием в кристаллической решетке новых фаз с участием водорода (например, водород вступает в химические реакции с примесями металлов, образуя гидриды). В результате этих процессов возникают значительные растягивающие напряжения, повышенное внутреннее давление в дефектах разрушает материал по всем развившимся и соединившимся трещинам. Многочисленные трещины, сливаясь, могут мгновенно превратить поверхностный слой детали в порошок.



Рис. 2. Основные этапы водородного изнашивания деталей машин

Степень наводороживания поверхностей при трении изменяется под действием факторов среды. Влияние водорода, как ускорителя износа и разрушения деталей машин, наблюдается в процессе работы различных узлов трения при контакте с водой, в углеводородных средах, при изменении влажности и температуры среды.

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 трибоводородообразование. 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.

Выявление механизма водородного изнашивания деталей машин позволяет сформулировать основные способы защиты от трибоводородообразования. 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. 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.

С учетом возрастающих тепловых и механических нагрузок в узлах трения современной дорожно-строительной техники защита от водородного изнашивания деталей машин приобретает особую значимость при решении комплексной проблемы – повышении надежности и долговечности машин.

### Список библиографических ссылок

1. Густов Ю.И. Триботехника строительных машин и оборудования: монография. – М.: МГСУ, 2011. – 197 с.
2. Гребенникова Н.Н. Оптимальная стратегия эксплуатации машин // Вестник развития науки и образования, 2014, № 3. – С. 25-29.
3. Браун Э.Д., Буяновский И.А., Воронин Н.А. Современная трибология: Итоги и перспективы. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 480 с.

4. Astakhov V. Tribology of Metal Cutting: Tribology Series. Elsevier Science Ltd, Vol. 52, 2006. – 392 p.
5. Biresaw G., Mital K. Surfactants in Tribology. Volyme 3 PDF Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, 2013, XVII.
6. Мухаметшина Р.М. Влияние климатических факторов на свойства материалов и надежность машин // Известия КГАСУ, 2014, № 4 (30). – С. 490-495.
7. Мухаметшина Р.М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии // Известия КГАСУ, 2013, № 4 (26). – С. 403-408.
8. Баурова Н.И. Диагностирование и ремонт машин с применением полимерных материалов: монография. – М.: ТехПрограмЦентр, 2008. – 280 с.

**Mukhametshina R.M.** – candidate of chemical sciences

E-mail: [rumya211@yandex.ru](mailto:rumya211@yandex.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **Breakdowns of road-building machines as a result of corrosion**

#### **Resume**

Hydrogenation the parts' friction's surface is one of the main factors, which determines road-building machinery's wear and tear. Hydrogenous wear is discovered in the road-building machines' and different kinds of machinery's units of friction.

At present the problem of hydrogen wear and tear is very significant because it is important to increase of machines' reliability and longevity. Nowadays such problem becomes relevant because of growth of thermal and mechanical load on the units of friction.

In the article there are general regularities of machines' parts' hydrogen wear; there are also the main methods of hydrogenation of the road-building machines' surfaces of parts. The article gives a detailed analysis of hydrogen wear's mechanism.

Depreciated surface of machines' parts is summation of different kinds of destructions, physical-chemical modifications of metal surface, which happen under the influence of outside factors.

Hydrogen is the accelerator of machines' parts' wear and tear. We can view such influence in the process of different units' of friction work and also during the contact with water, humidity changings and the temperature of parts.

The formulated methods of protection against tribohydrogenation we learned by study of machines' parts' hydrogen wear and tear's regularities.

**Keywords:** hydrogen wear and tear, road-building machines, hydrogenation, wear and tear of parts.

#### **Reference list**

1. Gustov Yu.I. Tribological engineering of construction machinery and equipment: monograph. – М.: MGSU, 2011. – 197 p.
2. Grebennikova N.N. The optimal strategy for operating machinery // «Bulletin of science and education», 2014, № 3. – P. 25-29.
3. Braun Je.D., Bujanovskij I.A., Voronin N.A. Modern tribology: Results and prospects. – М.: Publishers LKI, 2008. – 480 p.
4. Astakhov V. Tribology of Metal Cutting: Tribology Series. Elsevier Science Ltd, Vol. 52, 2006. – 392 p.
5. Biresaw G., Mital K. Surfactants in Tribology. Volyme 3 PDF Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, 2013, XVII.
6. Mukhametshina R.M. The impact of climatic factors on materials properties and road building machines reliability // Izvestiya KGASU, 2014, № 4 (30). – P. 490-495.
7. Mukhametshina R.M. Road Building Machines Glitches on Corrosion Parameters // Izvestiya KGASU, 2013, № 4 (26). – P. 403-408.
8. Baurova B.I. Diagnostics and repair of mashines with the use of polymeric materials: monograph. – М.: TekhPoligrafCentr, 2008. – 280 p.