

СНИЖЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ ПРИ НАВОДОРОЖИВАНИИ МЕТАЛЛА ТЕХНОГЕННОЙ БИОСРЕДОЙ

А.В. Кудина,

доцент каф. стандартизации и метрологии БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.С. Ивашко,

заведующий каф. технической эксплуатации автомобилей БНТУ, докт. техн. наук, профессор

Водород является одним из самых распространенных химических элементов в природе. Молекулярный водород вступает в реакции с немногими химическими элементами, но, превращаясь в радикал, взаимодействует со многими. Насыщение металла водородом приводит к наводороживанию и разрушению. Приводится хронология и раскрывается сущность процессов механизма наводороживания, водородного изнашивания и разрушения металла, которые разработаны на основе анализа результатов научных исследований и экспериментов.

Ключевые слова: металлоповерхность, водород, микроструктура, наводороживание, водородное растрескивание.

Hydrogen is one of the most common chemical elements in nature. Molecular hydrogen reacts with few chemical elements, but, turning into a radical, interacts with many. Saturation of the metal with hydrogen leads to hydrogenation and destruction. A chronology is given and the essence of the processes of the hydrogenation mechanism, hydrogen wear and metal destruction, developed on the basis of analysis of the results of scientific research and experiments, is revealed.

Keywords: metal surface, hydrogen, microstructure, hydrogenation, hydrogen cracking.

Введение

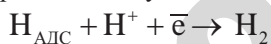
В странах с высокоразвитым промышленным животноводством особенную опасность для деталей машин и механизмов технологического оборудования представляли и представляют отходы животноводческих предприятий промышленного типа, так называемая рабочая техногенная биосреда. Именно на примере отходов крупных животноводческих комплексов (навоза) можно легко проследить роль микроорганизмов в биокоррозионном разрушении деталей машин и механизмов, контактирующих с этими техногенными биосредами. Известно, что в биохимический состав навоза входит множество микроорганизмов и органохимических элементов, которые активно способствуют биохимическим превращениям, образуя в процессе метаболизма химически активные радикалы и водород. Водород, являясь одним из основных химических элементов в составе живых микроорганизмов, как биогенный элемент занимает важное место в метаболизме бактерий. В одних случаях он является продуктом их жизнедеятельности, а в других окисляется, давая энергию и обеспечивая в окружающем пространстве протекание и развитие биологических и биосинтетических процессов. Известно, что большое значение для метаболизма водородообразующих микроорганизмов имеет обеспечение их железом. При дефиците этого элемента выделение водорода резко снижается или вообще не происходит. В зави-

симости от особенностей микроорганизмов и окружающей их среды клетки по-разному выделяют водород во внешнее пространство [1, 2]. Водород растворяется в окта- и тетрапорах кристаллической решетки металлов в ионизированном состоянии, накапливается в кавернах, трещинах и других дефектах металла в молекулярной форме, вступает в химическое взаимодействие с различными элементами и фазами, имеющимися в металлах и сплавах. Он адсорбируется внутри дефектов металла на поверхностях микротрещин и микрополостей, чем способствует развитию сегрегации кристаллов и созданию неоднородности химического состава металлов и сплавов, наводороживая контактирующую поверхность и проникая внутрь металла. В зависимости от природы металла и условий его насыщения водородом, формируются разные формы его состояния, между которыми существует динамическое равновесие. Такое состояние водорода в стали подтверждено результатами исследований по определению фракционного состава газа в металлах. В обычных условиях молекулярный водород вступает в реакции лишь с немногими элементами, но при нагревании, превращаясь в радикал, взаимодействует со многими [2, 3].

Цель настоящей работы – раскрыть причины и механизм интенсивного изнашивания трибоповерхностей деталей машин и технологического оборудования промышленного животноводства, снижающих качество их узлов и механизмов.

Основная часть

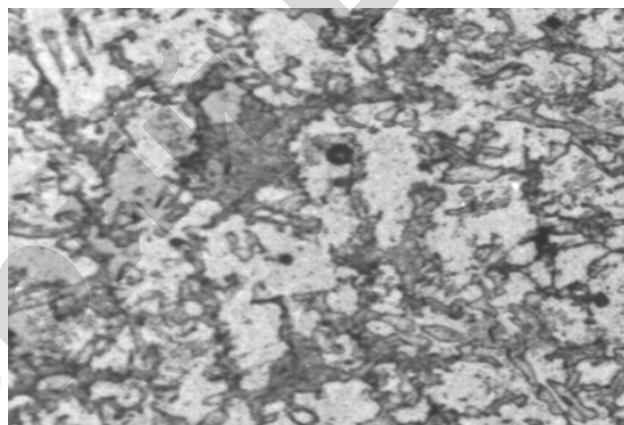
Процессы наводороживания металла начинаются с взаимодействия его поверхностей с сопрягаемыми микроэлементами и микрочастицами, находящимися в окружающей среде. В результате взаимодействия ненасыщенных силовых полей твердого тела с силовыми полями молекул газа, движущихся к твердой поверхности, или взаимодействия жидкости, соприкасающейся с твердым телом, поверхность последнего покрывается пленкой веществ, содержащихся в окружающей среде: газов, паров воды и других жидкостей. Кроме того, в пленке находятся микрочастицы различных веществ и микроорганизмов из окружающего пространства, соприкасающегося с поверхностью твердого тела. Характер взаимодействий образующихся пленок с металлом определяется как свойствами самого металла, так и воздействием на него окружающей среды в поверхностях раздела фаз, а также интенсивностью физических и химических процессов, протекающих как в металлоповерхностях, так и в самом разделяющем слое [3-6]. Поверхность металла, взаимодействуя с химическими соединениями, свободными радикалами, а также с микроорганизмами из окружающей среды (биофакторами) и продуктами их метаболизма, подвергается структурному разупрочнению и повреждению, что инициирует и ускоряет процессы электрохимической, химической и биологической коррозии, способствующие выделению водорода. Образовавшиеся атомы водорода адсорбируются трибоповерхностью детали, проникают внутрь металла и накапливаются в дефектах его структуры. Результаты проведенных исследований показали [7], что металлические детали сельхозтехники, подвергшиеся биокоррозионному разрушению, содержат повышенное количество водорода: от 12×10^{-3} – до 38×10^{-3} % мас. Такое количество водорода в металле можно объяснить только результатом адсорбционного взаимодействия изнашиваемой поверхностью детали, как с окружающим пространством, так и с композиционным составом техногенной среды, при котором протекают физические, трибохимические и биохимические процессы с выделением водорода и последующим поглощением его металлом. Адсорбированный водород внутри металла преобразуется в молекулярный по следующей зависимости:



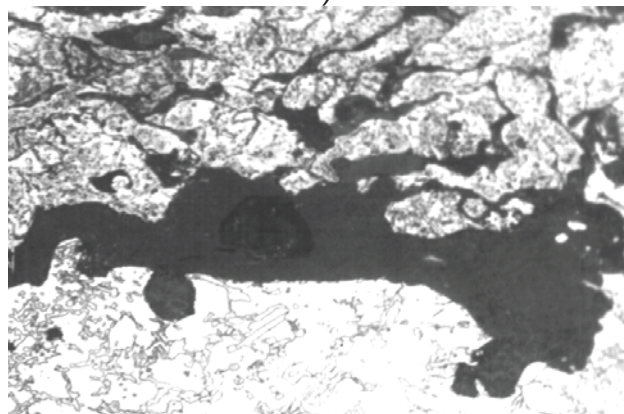
Исследования структуры поверхностного слоя детали узла трения скребкового транспортера для уборки навоза сельскохозяйственных животных до и после биокоррозионного разрушения показали (рис. 1), что структура поверхности детали заводского изготовления (рис. 1а) является цельной и однородной без каких бы то ни было внутренних дефектов, а вот в структуре поверхностного слоя металла аналогичной детали, выработавшей ресурс (рис. 1б), отчетливо видны следы биокоррозионного разрушения поверхностного слоя. Они представляют собой суб- и микротрещины, раковины и каверны, в которых легко

накапливаются выделяющиеся при коррозии химически активные радикалы, метаболиты и газы, в т.ч. и адсорбционный водород [7], который, накапливаясь в межкристаллитном пространстве, осуществляет наводороживание поверхностного слоя металла и создает высокие удельные давления в местах его концентрации по всему объему материала.

Наводороживанию подвергается относительно тонкий поверхностный слой, имеющий специфическое напряженно-деформированное состояние. Этот слой образуется в результате механической или термической обработки металла и значительно отличается от глубинных слоев по своей микроструктуре. Максимальное наводороживание приходится на слой толщиной около 40 мкм, но при возникновении растягивающих напряжений в металле, не только увеличивается количество водорода в нем, но и смещается максимум наводороживания и содержание его по глубине [3, 6]. Накопление дислокаций и растягивающие внутренние напряжения благоприятствуют возникновению суб- и микроколлекторов, которые заполняются атомарным водородом, превращающим-



а)



б)

Рисунок 1. Структура металлоповерхности детали узла трения транспортера, $\times 500$:

а - поверхность детали заводского изготовления (до биоразрушения);

б - поверхность детали, выработавшая ресурс (после биокоррозии).

ся в молекулы. Кроме коллекторов, заполненных молекулярным водородом, атомарный (диффузионно-подвижный) водород попадает в ловушки внутренней структуры металла (вакансии, дислокации, области объемного растяжения кристаллической решетки), обусловленные полями внутренних локальных микронапряжений, где он также превращается в молекулы. Накопление повреждений в структуре поверхностного слоя металла и аномально высокое насыщение его водородом, при циклическом деформировании, приводят к структурному разупрочнению, разрыхлению и разрушению поверхностного слоя с последующим его наводороживанием. Наводороживание металла неразрывно связано с разрушением структуры и потерей физико-механических свойств, поэтому его следует рассматривать как начальный этап водородного износа и разрушения, т.е. процессов водородного изнашивания, охрупчивания и растрескивания металла.

Насыщение металла водородом происходит благодаря его диссоциации на поверхности металла при образовании различных химических комплексов и радикалов, а также при деструкции клеток живых микроорганизмов. В работах [1-7] отмечено, что одним из существенных источников образования водорода являются процессы микробиологического синтеза, протекающие на поверхности металла при наличии биологического фактора, который инициирует биокоррозионные процессы. На рис. 2 представлена структура поверхностного слоя металла, подвергнутого биокоррозионному разрушению и наводороживанию. В верхней части поверхностного слоя, толщиной 0,075...0,20 мм, отчетливо виден поврежденный биокоррозией тонкий поверхностный слой металла с характерными повреждениями и разрушениями структуры. Под биоповрежденным поверхностным

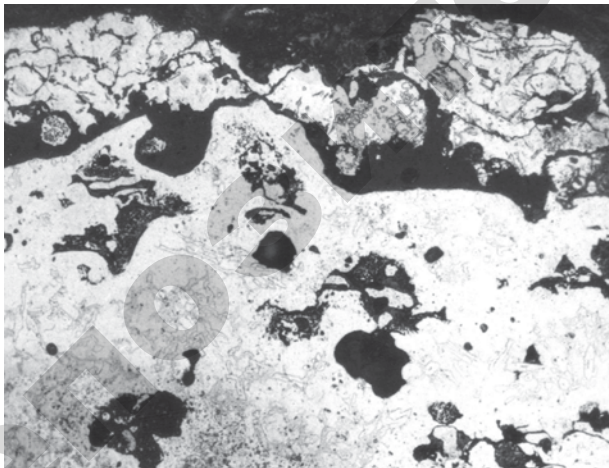


Рисунок 2. Структура поверхностного слоя стального образца, подвергнутого коррозионному разрушению и наводороживанию, $\times 500$

слоем формируются локальные очаги разрушения целостности структуры основного металла в виде внутренних микродефектов (трещины, пустоты, поры, коллекторы и пр.), в которых происходит

накопление водорода. Известно [8, 9], что трещины зарождаются в зоне максимальных растягивающих напряжений, в вершинах микродефектов, расположенных у поверхности металла по границам зерен.

Развитие трещин приводит к образованию микроразрывов и их соединению (слиянию) с другими внутренними микродефектами, в которых накопление водорода создает высокие удельные давления, происходит формирование макро- и микроскопических трещин. Характерной особенностью этих трещин является межкристаллический вид разрушения, причем, они образуются вдоль направления роста столбчатых кристаллов.

Во всех подобных случаях растрескивание металла вызывают атомы водорода, проникающие внутрь его, либо в результате коррозионных реакций, либо при катодной поляризации. Водород, проникая внутрь металла, получает доступ к новым внутренним поверхностям дефектов его структуры и, при их резком увеличении, активно взаимодействует с ними, способствуя интеркристаллитному растрескиванию металла. Накопление повреждений структуры металла и аномально высокое насыщение его водородом приводит к сильному ухудшению таких механических характеристик металла, как выносливость при циклическом деформировании [9]. Одной из основных причин этого является наводороживание металла с формированием поверхностного водородонасыщенного слоя. Знакопеременное деформирование насыщенного водородом слоя приводит к некоторому перераспределению водорода по глубине металла, толщина водородонасыщенного слоя увеличивается, максимум водородосодержания сглаживается, но затем происходит движение водорода вглубь объема материала, сопровождающееся микрорастрескиванием. Механизм растрескивания металла объясняется развитием внутреннего давления, вызванного скоплением в пустотах и других благоприятных местах газообразного водорода, образующегося при слиянии атомарного водорода, растворенного в кристаллической решетке. Кроме того, диффузия и адсорбция водорода в вершинах трещин снижают поверхностную энергию атомов напряженного металла. Особенностью водородного растрескивания является специфическая задержка в появлении трещин после приложения нагрузки. Задержка перед появлением трещин связана с тем, что для диффузии водорода к специфическим участкам вблизи ядра трещины и для достижения достаточной для разрушения концентрации требуется время. Эти специфические участки окружены дефектами, возникающими в результате пластической деформации металла. Атомы водорода из кристаллической решетки, диффундируя к дефектам, переходят в более низкое энергетическое состояние. Трещина распространяется прерывисто, так как каждому последующему шагу ее роста предшествует пластическая деформация, затем диффузия водорода к дефектам. Любые факторы, снижающие растворение водорода в стали, повышают ее устойчивость к растрескиванию. Например, сплавления металла с небольшими количествами платины или палладия катализируют образование моле-

кулярного водорода на поверхности стали, а легирование металла медью, алюминием и кальцием тормозят коррозионные процессы за счет образования пленок сульфидов и патины, что повышает стойкость металла к наводороживанию [3, 9, 10].

Заключение

На снижение качества и надежности деталей, как машин, так и технологического оборудования промышленного животноводства, существенное влияние оказывают процессы биокоррозии, наводороживания, интенсивного изнашивания и разрушения металлов. Эти процессы неразрывно связаны с накоплением водорода в дефектах, как поверхностного слоя металла, так и внутри его, которое приводит к созданию высоких внутренних напряжений в местах концентрации водорода и образованию микро- и макротрещин. Кинетика механизмов изнашивания поверхностей трения деталей машин, а также результаты выполненных исследований, позволяют заключить, что механизм разрушения металлов водородом протекает по следующей закономерности:

1. Образование на металлоповерхностях тонких пленок из водородосодержащих химических соединений и водородообразующих микроорганизмов с питательной средой; адгезия молекул химических соединений, микроорганизмов и продуктов их метаболизма с поверхностью металла и образование на ней зон (пятен) коррозионной активности.

2. Биоценоз и синтрофизм микроорганизмов в зонах коррозионной активности, зарождение и протекание электрохимических, химических и биохимических реакций, деструкция клеток и молекул соединений под воздействием физических, химических и биологических факторов с образованием химически активных элементов и свободных радикалов, в том числе и водорода.

3. Разрыхление структуры поверхностного слоя металла, нарушение ее целостности и однородности, изменение микро- и макрогеометрии, рост и увеличение ультрамикроскопических дефектов поверхности в виде трещин и раковин, количество которых постоянно возрастает в результате воздействий коррозионных и химических процессов, что создает систему дефектов – слабых мест поверхности металла, так называемых, очагов повреждений.

4. Образование очагов повреждений поверхности, усиление адсорбции металлом водорода и свободных радикалов, проникновение их вглубь металла в межкристаллитное пространство и кристаллическую решетку, способствуют зарождению и развитию внутренних субмикро- и макротрещин, распространяющихся по всему объему металла.

5. Адсорбированный металлом водород в образовавшихся трещинах и дефектах структуры накапливается, превращаясь в молекулы. Накопление молекулярного водорода в ограниченном пространстве металла приводит к созданию в нем высоких локальных внутренних напряжений, которые разрушают атомные связи и

структуру кристаллической решетки, чем инициируется трещинообразование.

6. Насыщение металла ионами водорода и их концентрация вблизи узлов кристаллической решетки приводит к разрыхлению структуры металла: она теряет свои прочностные характеристики, происходит водородное охрупчивание, а дальнейшее насыщение металла водородом, при одновременном воздействии растягивающих напряжений, приводит к водородному растрескиванию. Трещины при водородном растрескивании в основном транскристаллитные.

Разработанный механизм разрушения металлов водородом позволяет расширить представление о физике процессов изнашивания и разрушения металлов, глубже понять причины и механизмы потери работоспособности узлов и деталей машин, работающих в контакте с техногенными биокоррозионными и водородосодержащими средами, и на основе их анализа находить оптимальные технические решения по повышению качества и надежности машин и технологического оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашко, В.С. Разрушение микроорганизмами материалов деталей машин и механизмов по производству и переработке сельхозпродукции / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Агропанорама, 2007. – №2. – С. 36-40.

2. Кондратьева, Е.Н. Молекулярный водород в метаболизме микроорганизмов / Е.Н. Кондратьева, И.Н. Гоготов. – М: Наука, 1981. – 344 с.

3. Шелег, В.К. Водородостойкие защитные материалы для деталей трения машин и оборудования, работающих в техногенных водородосодержащих средах / В.К. Шелег, А.Ф. Присевко // Вестник Белорусского национального технического университета, 2007. – № 3. – С. 15-22.

4. Кураш, В.В. Исследование состава коррозионно-стойких металлопокрытий с низкой водородопроницаемостью, сформированного методом наплавки / В.В. Кураш, А.В. Кудина, Н.К. Лисай, А.Н. Лисай // Агропанорама, 2011. – №2. – С. 35-39.

5. Ивашко, В.С. Теоретические аспекты кинетики изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Белорусского национального технического университета, 2005. – № 5. – С. 59-63.

6. Гаркунов, Д.Н. Виды трения, изнашивания и эксплуатационные повреждения деталей машин / Д.Н. Гаркунов, П.И. Корник, Э.Л. Мельников // Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – № 7. – С. 43-49.

7. Кураш, В.В. Исследование наводороживания металлоповерхностей деталей рабочих органов машин, агрегатов и сборочных единиц сельскохозяйственной техники / В.В. Кураш, Ю.И. Титов, А.В. Кудина // Агропанорама, 2010. – №3. – С. 39-42.

8. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (Трибология и триботехника) /А.В. Чичинадзе, Э.М. Браун; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

9. Панасюк, В.В. Механика разрушений и прочность материалов: справоч. пос. в 4-х т.; под общей ред. В.В. Панасюка / Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1990. – Т. 4. – 680 с.

10. Спиридонов, Н.В. Коррозионная стойкость медесодержащих металлопокрытий, наплавленных с применением ультразвуковых колебаний / Н.В. Спиридонов, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Полоцкого государственного университета: серия В. Промышленность. Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – №8. – С.73-76.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

УДК 621.762

ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ ОДНООСНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

В.М. Капцевич,

заведующий каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.К. Корнеева,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

Т.А. Богданович,

студент БГАТУ

Исследованы свойства переработанных медных кабельных отходов и закономерности их уплотнения. Исследованы структурные и гидродинамические свойства проницаемых материалов из медных кабельных отходов, полученных одноосным прессованием в стальной пресс-форме. Доказана возможность использования медных кабельных отходов, разделенных на фракции, в качестве исходного сырья для производства проницаемых волоконных материалов.

Ключевые слова: медные кабельные отходы, гранулометрический состав, плотность насыпки, плотность утряски, уплотняемость, прессуемость, волоконные проницаемые материалы, структурные и гидродинамические свойства.

Properties of recycled copper cable waste are investigated. Regularities of their seals were investigated. Structural and hydrodynamic properties of permeable materials from copper cable wastes obtained molding in a steel mold, investigated. The possibility of using copper cable waste separated into fractions, as a feedstock for the production of permeable fibrous materials, proven.

Keywords: Copper cable waste, particle size distribution, application phase density, tapped density, compressibility, compressibility, of fiber permeable materials, structural and hydrodynamic properties.

Введение

Современная сельскохозяйственная техника представляет собой дорогостоящие высокотехнологичные изделия, производство и обслуживание которых требуют значительной технической культуры. Эффективность, а зачастую даже область применения мобильной техники, в большой мере определяется качеством вспомогательных систем, которые должны обеспечить, при интенсивной эксплуатации, функционирование силовых агрегатов в оптимальных режимах. Известно [1-4], что системы фильтрования можно отнести к наиболее значимым вспомогательным системам такого рода, поскольку как минимум 75 % неисправностей и 50 % простоев автотракторной и сельскохозяйственной техники обусловлено наличием загрязняющих частиц в топливе, масле, гидрожидкости и воздухе.

Для очистки жидкостей и газов используют порошковые, волоконные и ячеистые проницаемые мате-

риалы, которые являются традиционными объектами разработок и исследований в области порошковой металлургии. Проницаемые волоконные материалы (ПВМ) по сравнению с порошковыми материалами обладают рядом существенных преимуществ [5, 6]: большей пористостью, проницаемостью, прочностью, упругостью и пластичностью. Фильтры на их основе работают в режиме глубинного фильтрования, обладают высокой производительностью, задерживающей способностью, грязеемкостью, сроком службы и способностью к многократной регенерации. Однако дороговизна исходного сырья и в ряде случаев сложность технологии изготовления самих волокон сдерживают процессы создания проницаемых материалов на их основе.

В качестве исходного сырья для изготовления ПВМ несомненный интерес представляют медные кабельные отходы (МКО). В БГАТУ впервые предложено их использовать в качестве исходного мате-