

УДК 62-762.445:630*37

Е.А. Памфилов, П.Г. Пыриков, Г.А. Пилюшина, С.В. Тяпин

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Памфилов Евгений Анатольевич родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Брянский институт транспортного машиностроения, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 350 печатных работ в области обеспечения долговечности машин и оборудования.

E-mail: pamfilov@bgita.ru



Пыриков Павел Геннадьевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Брянский технологический институт, доктор технических наук, профессор кафедры оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 100 печатных работ в области управления функциональными характеристиками конструкционных и инструментальных материалов, применяемых в лесном и деревообрабатывающем машиностроении.

E-mail: pyrikovpg@mail.ru



Пилюшина Галина Анатольевна окончила в 2000 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии конструкционных материалов и ремонта машин Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 30 печатных работ в области повышения работоспособности узлов и механизмов машин и оборудования лесного комплекса.

E-mail: gal-pi2009@yandex.ru



Тяпин Сергей Витальевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант. Имеет 6 печатных работ в области обеспечения работоспособности разъемных соединений гидравлических систем лесозаготовительных машин.

E-mail: mr.Sergei22@km.ru



ПОВЫШЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГИДРОСИСТЕМ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены возможности повышения работоспособности гидросистем, в частности широко используемых в них неподвижных разъемных соединений. Выявлены факторы, влияющие на уровень герметичности исследуемых соединений, и обоснованы конструктивно-технологические методы ее повышения. Предложены пути повышения работоспособности неподвижных разъемных соединений гидравлических машин, используемых на предприятиях лесного комплекса.

Ключевые слова: адгезионно-механические связи, аморфизирующая обработка, герметичность, гидросистема, дегерметизирующие каналы, надежность, оборудование лесного комплекса, работоспособность, сервовитные пленки, текстурирование поверхностных микрообъемов, фреттинг-коррозия.

© Памфилов Е.А., Пыриков П.Г., Пилюшина Г.А., Тяпин С.В., 2013

Работоспособность лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования в значительной степени зависит от надежной работы гидросистем, которые обеспечивают функционирование исполнительных органов технологических машин и выполнение ими основных работ: валку, обрезку сучьев, погружно-разгрузочные операции, раскряжевку, пакетирование древесины и др.

Надежность гидросистем, в том числе, по показателям герметичности далеко не всегда соответствует современным производственно-технологическим требованиям. При этом наиболее часто нарушение герметичности связано с утечкой рабочей жидкости через неподвижные соединения, выполняющие роль технологических разъемов. Герметичность таких соединений, эксплуатируемых при рабочих давлениях до 20...25 МПа и выше, достигается преимущественно за счет плотного прилегания конической или сферической поверхности ниппеля к конической рабочей поверхности штуцера, в результате чего образуется непроницаемая для рабочих жидкостей полоса контакта.

Герметичность в рассматриваемых соединениях определяется прочностью адгезионно-механических связей в контактной зоне, физико-химическими свойствами материалов, конструктивно-технологическими параметрами, включающими условия обработки деталей и их сборки, закономерностями формирования промежуточных слоев, геометрическими параметрами герметизирующих поверхностей. Кроме перечисленных выше параметров, обеспечивающих герметичность неподвижных соединений, важными являются и факторы внешнего силового, скоростного и температурного режимов эксплуатации, а также коэффициент трения, реализующийся на площадках фрикционного контакта сопрягаемых поверхностей.

В рассматриваемых соединениях реализуются трибосопряжения, для которых характерны высокие удельные нагрузки, малые скорости и амплитуды перемещения. Такой характер взаимодействия рабочих поверхностей герметизирующих соединений способствует проявлению на них фреттинг-износа, в результате чего частицы износа, не имеющие возможности выйти из зоны контакта, производят разрушающее действие на материал сопрягаемых деталей.

С учетом описанного механизма изнашивания деталей герметизирующих соединений нами было признано целесообразным разработать схемы формирования промежуточных слоев между сопрягаемыми поверхностями для длительного сохранения регламентируемой герметичности. Эти слои обеспечивают возможность позитивной трансформации параметров макрогеометрии и волнистости функциональных поверхностей. Кроме того, в контактной зоне происходит аморфизация внесенного в нее материала, что обеспечивает замену внешнего трения на поверхностях деталей на внутреннее в создаваемых промежуточных слоях.

Материал промежуточных слоев заполняет дегерметизирующие каналы, возникновение которых обусловлено наличием геометрических погрешностей соединяемых поверхностей. Для определения объемов этих каналов были рассмотрены схемы контактирования цилиндрических, конических или сферических поверхностей, имеющих различные геометрические погрешности (рис. 1).

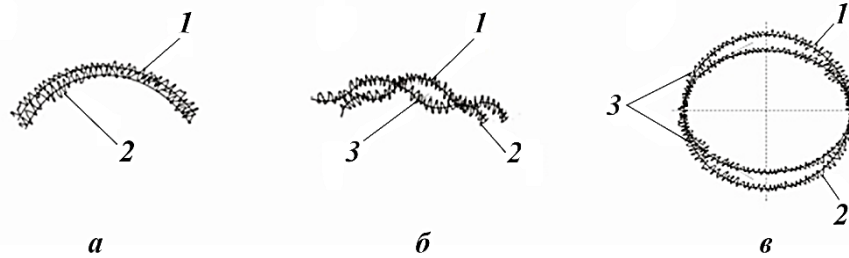


Рис. 1. Схемы контактирования в неподвижных соединениях при наличии шероховатости (а), шероховатости и волнистости (б), шероховатости и овальности (в): 1 – охватывающая поверхность (штуцер); 2 – охватываемая поверхность (ниппель); 3 – поры, формирующиеся в неподвижном контакте

При сборке соединений происходит контактная деформация взаимодействующих поверхностей и наблюдается изменение их физико-механических и геометрических характеристик. При этом наибольшие изменения происходят на более мягкой из сопрягаемых поверхностей. Ее шероховатость постепенно приближается к шероховатости твердого контртела до тех пор, пока не достигнет некоторого значения, характерного для данного режима контактного взаимодействия.

При обосновании параметров промежуточного слоя полагалось, что он должен иметь надежное граничное сцепление с охватывающей и охватываемой поверхностями, а в самом слое должны быть созданы условия для реализации в нем внутреннего трения (рис. 2).

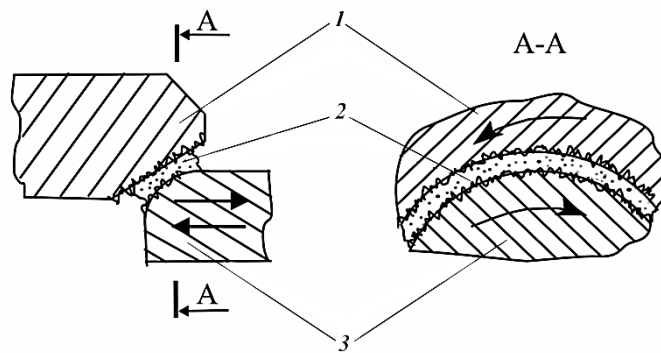


Рис. 2. Схема контактной зоны условно неподвижно соединяемых деталей, разделенных аморфным промежуточным слоем, при приложении сдвигающей нагрузки: 1 – охватывающая деталь, 2 – промежуточный слой, 3 – охватываемая деталь (стрелками указаны векторы возможных осевых и крутильных колебаний деталей герметизирующего узла)

Таким образом, для повышения работоспособности герметизирующего соединения необходимо, чтобы процессы контактного взаимодействия и микроперемещения при работе соединения преимущественно локализовались в зоне промежуточной протекторной пленки, не затрагивая ее граничных областей 1-2 и 2-3. Такой подход исключает разрушение материала деталей в результате проявления фреттинг-коррозии и обеспечивает герметичность соединения путем устранения микроутечек за счет перераспределения материала покрытия в контактной зоне. Для достижения этого должны быть соблюдены следующие условия:

$$f_{\text{вн}} < f_{\text{сц}(1-2)}; \quad f_{\text{вн}} < f_{\text{сц}(2-3)},$$

где $f_{\text{вн}}$ – коэффициент внутреннего трения в промежуточном слое;

$f_{\text{сц}(1-2)}$ – коэффициент сцепления в зоне охватывающая деталь–покрытие;

$f_{\text{сц}(2-3)}$ – коэффициент сцепления в зоне покрытие–охватываемая деталь.

Для формирования промежуточных слоев можно использовать химические или электрохимические методы осаждения покрытий, напыление или натирание металлов, нанесение металлополимерных паст. Следует отметить целесообразность использования так называемых сервоитных пленок. Такие пленки имеют особую структуру, которая образуется и существует в процессе трения, сопровождающегося сложными физическими и химическими явлениями [1]. При функциональном взаимодействии частицы материала могут переходить с одной поверхности трения на другую и схватываться друг с другом без образования повреждений и увеличения сил трения [4]. Сервоитные пленки обладают способностью устранять возможные места протекания рабочей жидкости (поры, капиллярные и др. пустоты).

При наличии значительных дегерметизирующих пустот необходимо создание пленок толщиной от 4...5 до 20...30 мкм. Минимальная толщина обусловлена регламентируемой шероховатостью герметизирующих поверхностей (Ra 3,2 мкм), максимальная – амплитудой возможных крутильных колебаний и уровнем прилагаемых нагрузок.

Кроме того, должен быть осуществлен целесообразный выбор герметизирующего материала. Наиболее перспективными в этом плане являются медь и ее сплавы, так как они достаточно просто наносятся многими технологическими способами и легко аморфизируются.

Объем наполняемого материала определяется размером пустот, образующихся в герметизируемой зоне при контактировании функциональных поверхностей.

В принятых условиях контактирования объем межконтактного пространства можно рассчитать по формуле [2]

$$V = R_p A_c \left[1 - \left(\frac{P_c}{\alpha P_r t_m} \right)^{1/\nu} \right], \quad (1)$$

где R_p – расстояние от линии выступов шероховатости до средней ее линии;
 A_c – контурная площадь;
 p_c – контурное давление;
 α – коэффициент ($\alpha = 1/2$ – при упругом контакте, $\alpha = 1$ – при пластичном);
 p_f – фактическое давление;
 t_m и v – параметры опорной кривой по ГОСТ 2789–73.

Объем зазора при контактировании цилиндрических или конических поверхностей, имеющих поперечное сечение в виде окружности и овала, определяется следующей зависимостью:

$$V_3 = \left(\pi \frac{|d_1^2 - d_2^2|}{4} \right) ma, \quad (2)$$

где d_1 – диаметр охватываемой или охватывающей детали соединения, не имеющей погрешностей;

d_2 – размер наибольшей оси овальной формы контактирующей детали;

m – пористость;

a – ширина контакта соединения.

Ширину контакта соединения с определенным приближением можно определить из контактной задачи Герца о внедрении жесткой сферы в пластическое полупространство [2]:

$$a = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} \approx \sqrt{2Rh}, \quad (3)$$

где R – радиус скругления рабочей зоны охватываемой детали (ниппеля);

h – сближение поверхностей под нагрузкой.

С учетом полученного выражения формула (2) примет следующий вид:

$$V_3 = \left(\pi \frac{|d_1^2 - d_2^2|}{4} \right) m \sqrt{2Rh}. \quad (4)$$

Материал промежуточного слоя должен также иметь возможность перераспределяться в пределах образовавшегося зазора, обладать достаточной структурной приспособляемостью, позволяющей противодействовать возникновению фреттинг-коррозии. Кроме того, такие промежуточные слои должны обладать определенными демпфирующими свойствами, позволяющими минимизировать действие динамических нагрузок.

Из возможных способов нанесения покрытий, обеспечивающих формирование функционального слоя, наиболее простым является химическое и электрохимическое осаждение меди.

При использовании химического осаждения могут быть получены слои толщиной от 2 до 5 мкм и более. Химическое осаждение является достаточно технологичным процессом, материалы для его выполнения доступны и недо-

роги. При его проведении обеспечивается необходимая равномерность осаждения материала покрытия по всей функциональной поверхности, а само покрытие имеет мелкокристаллическое строение и обладает низкими пористостью и дефектностью получаемой структуры.

Перспективно и фрикционное латунирование, которое существенно повышает антифрикционные свойства создаваемых функциональных поверхностей, а также использование распыления (пульверизации) наносимого материала электродуговым или газопламенным способами [4].

С учетом изложенного выше нами предложена технологическая схема формирования промежуточного функционального слоя, который создается за счет химического осаждения на одну из контактирующих поверхностей слоя толщиной 2...4 мкм, а на другую – путем газотермического покрытия толщиной 8...10 мкм. Затем детали соединения подвергаются оптимизирующей приработке с введением в зону контакта технологической среды, состоящей из 90 % глицерина и 10 % уксусной ледяной кислоты [3]. В результате происходит аморфизация промежуточного протекторного слоя с регламентированным формированием благоприятного уровня шероховатости в продольном и поперечном направлениях.

Механизм функционирования такого покрытия сводится к следующему. Как газотермические, так и химические покрытия, наносимые на контактирующие поверхности, достаточно надежно закрепляются на них за счет действия адгезионных связей. В результате при приложении смещающей нагрузки срыва покрытия с материала подложки не происходит, а все относительные (как микро-, так и макроперемещения) реализуются во внутренних промежуточных слоях.

Поскольку наносимый газотермическим способом промежуточный слой при аморфизирующей приработке становится мягким и пластичным, то появляется возможность его дополнительной обработки методами поверхностного пластического воздействия для получения благоприятного уровня регулярной микрогеометрии. Для этого целесообразно использовать инструменты-инденторы, позволяющие создавать определенную повторяемость благоприятных микрорельефов.

Для создания герметизирующих соединений использовались как вновь изготовленные образцы, так и серийные изношенные соединения, восстановленные по приведенной выше схеме обработки, включающей газотермическое и химическое нанесение покрытий и последующую технологическую приработку.

Сравнительные испытания соединений показали, что как вновь изготовленные образцы, так и восстановленные с использованием предлагаемой нами технологической схемы по показателям герметичности и износостойкости более чем в четыре раза превышают серийные образцы неподвижных разъемных соединений.

Таким образом, предлагаемые в работе схемы формирования промежуточных защитно-герметизирующих слоев (как при изготовлении новых кон-

струкций неподвижных разъемных соединений, так и при восстановлении работоспособности изношенных) обеспечивают исключение фреттинг-изнашивания в течение заданного срока эксплуатации, а также более длительное сохранение регламентируемой герметичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов. 2-е изд., перераб. и доп./ А.В.Чичинадзе [и др.]. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. *Памфилов Е.А., Пилушина Г.А., Тягин С.В.* Обеспечение герметичности разъемных соединений гидравлических систем технологических машин // Изв. Самарского НЦ РАН. 2011. Т. 13, № 4(3). С. 1170–1172.
4. *Потеха В.Л.* Трибодилатометрия. Гомель, 2000. 374 с.

Поступила 28.06.11

Е.А. Pamfilov, P.G. Pyrikov, G.A. Pilyushina, S.V. Tyapin
Bryansk State Engineering and Technological Academy

Increased Tightness of Stable Demountable Connections in Machines and Forestry Equipment Hydrosystems

The article considers possible ways of increasing hydrosystems' working capacity, in particular, stable demountable connections widely used in them. Factors affecting tightness level of the connections under consideration are revealed; constructive and technological methods to increase this level are substantiated. Ways of increasing working capacity of stable demountable connections of hydraulic machines used at forestry factories are offered.

Key words: adhesive-mechanical connections, amorphization treatment, tightness, hydrosystem, untightening channels, reliability, forestry equipment, working capacity, protective tribofilms, texturing of surface microvolumes, fretting corrosion.