

УДК 669.058

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

П.В. ПУЧКОВ, А.В. ТОПОРОВ, В.В. КИСЕЛЕВ
ФГБОУВПО «Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России»
E-mail: palpuch@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В связи с развитием техники и устройств, работающих в условиях вакуума, весьма актуальной стала проблема трибологической безопасности резьбовых соединений. Решить проблему трибологической безопасности резьбовых соединений можно путем создания новых конструктивных решений.

Материалы и методы: Расчеты магнитных характеристик разработанной конструкции выполнены на основе метода конечных элементов.

Результаты: Рассмотрена проблема трибологической безопасности резьбовых соединений. Предложен способ решения обозначенной проблемы путем разработки новых конструкций резьбовых соединений с применением магнитоуправляемых жидкостей. Определена наиболее рациональная конструкция магнитной системы для разработанного резьбового соединения закрытого типа.

Выводы: Разработанная конструкция резьбового соединения, содержащая магнитную систему на основе сплава NdFeB, предназначена для использования в устройствах, работающих в тяжелых условиях.

Ключевые слова: уплотнение, магнитная жидкость, трение.

DEVELOPMENT OF A DESIGN OF TRIBOLOGICAL SECURE THREADED CONNECTION

P.V. PUCHKOV, A.V. TOPOROV, V.V. KISELEV
Ivanovo Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Ivanovo, Russia
E-mail: palpuch@mail.ru

Abstract

Background: The problem of tribological security of threaded connectors has become very actual in connection with the development of technical means and devices working in vacuum. The problem of tribological security of threaded connectors can be solved by means of new design approaches.

Materials and methods: Calculations of the magnetic characteristics of the developed structures are made on the basis of the finite element method.

Results: The problem of tribological security threads has been considered. A method for solving the problems implies the development of new designs of screw joints using magnetically controlled liquids. The most rational design of a magnetic system for the closed threaded connection was determined.

Conclusions: A design of threaded connections comprising a magnetic system based on alloy NdFeB to be used in devices operating in harsh conditions was developed.

Key words: seal, magnetic fluid, friction.

Проблема трибологической безопасности резьбовых соединений в настоящее время весьма актуальна, особенно с развитием техники и устройств, работающих в условиях вакуума. К резьбовым соединениям, работающим в условиях вакуума, а особенно в космических аппаратах, должны предъявляться высокие эксплуатационные требования. Трение в вакууме отличается от трения при атмосферном давлении.

Функционирование узлов трения в вакууме имеет свою специфику – это отсутствие окислительной среды, наличие вакуума, сублимация элементов материалов, повышенная испаряемость смазочных материалов, теплонапряженность, высокий градиент температур, космическая радиация, невесомость, влияние микрометеоритов, действие вибрационных и ударных на-

грузок на этапах старта и посадки, сложность применения жидких масел.

Уменьшение давления окружающей среды изменяет фрикционные характеристики материалов пары трения. В связи с этим процесс трения металлов в вакууме усложняется, коэффициент трения несколько раз больше, чем при трении на воздухе, и достигает нескольких единиц. Сложность состоит в регенерации защитных пленок на поверхности контакта трения, так как в условиях вакуума жидкие смазки испаряются, а твердые смазочные покрытия сублимируются. Удержать смазочный материал в зоне контакта трения деталей в условиях вакуума крайне сложно.

Решить проблему трибологической безопасности резьбовых соединений можно путем новых конструктивных решений и применения магнитоуправляемых наножидкостей. Магнитные

смазочные жидкости могут использоваться в качестве смазочного материала в резьбовых соединениях и принудительно удерживаются в зоне контакта трения постоянным магнитным полем. Резьбовая поверхность болта с нанесенной на его поверхность магнитной жидкостью (МЖ) представлен на рис. 1.

Как вариант решения проблемы безотказной работы пар трения винт-гайка в вакууме может послужить трибологически безопасное резьбовое соединение «закрытого» типа.



Рис. 1. Поверхность болта с магнитной жидкостью

Конструкция данного резьбового соединения представлена на рис. 2.

Данное резьбовое соединение предназначено для работы в условиях ограниченной смазки, в условиях вакуума и других тяжелых условиях. В условиях вакуума обычные резьбовые соединения теряют свою подвижность из-за испарения смазки и сублимации твердых смазочных покрытий, в результате чего происходит холодное сваривание поверхностей резьбы винта и гайки с образованием мостиков холодного сваривания.

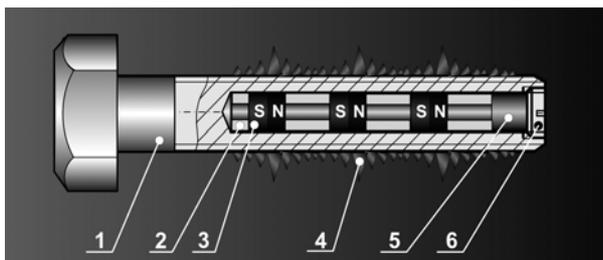


Рис. 2. Конструкция трибологически безопасного резьбового соединения «закрытого» типа: 1 – тело винта М20х2; 2 – кольцо проставочное из магнитного материала; 3 – постоянный магнит; 4 – магнитная жидкость на основе полиэтилсилоксана (ПЭС-5); 5 – проставка-цилиндр из магнитного материала; 6 – заглушка

Сущность предлагаемого резьбового соединения состоит в том, что трибологическая безопасность и надежность работы резьбового соединения обеспечиваются за счет применения в нем магнитной жидкости на полиэтилсилоксановой основе (ПЭС-5), удерживаемой в зазоре резьбового соединения магнитным полем, которое инициируется постоянными магнитами, установленными в теле винта. В отличие от обычных

смазочных материалов, смазочные МЖ обладают магнитной восприимчивостью и подвергаются действию наложенного на них магнитного поля – удерживаются в нем или перемещаются в зону большей его напряженности. В связи с этим действие смазочных МЖ зависит не только от их собственных смазочных свойств, но и от условий, определяемых наложенным магнитным полем. Под его действием МЖ интенсивно проникают на поверхности контакта в зоне трения и образуют там смазочные слои и пленки.

Для исследования работоспособности разработанного резьбового соединения был выполнен расчет его магнитных свойств. Для выполнения расчетов использовался метод конечных элементов. Полученные результаты расчетов представлены на рис. 3–5.

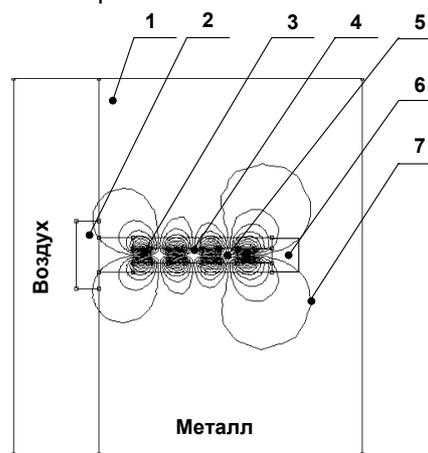


Рис. 3. Картина распределения линий магнитной индукции вдоль резьбовой поверхности винта: 1 – деталь; 2 – винт; 3 – магниты постоянные; 4 – проставка-кольцо; 5 – воздушная полость; 6 – проставка-магнитопровод; 7 – линии магнитной индукции

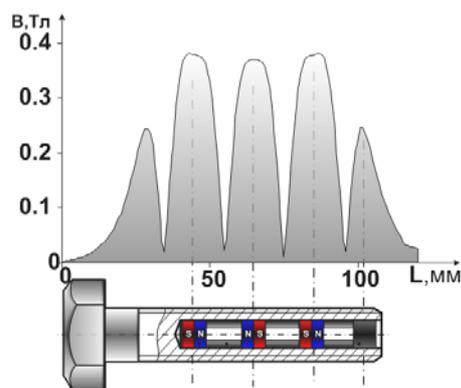


Рис. 4. График распределения напряженности магнитного поля вдоль рабочей поверхности винта

Анализируя полученные результаты, представленные на рис. 3–5, можно сделать вывод о том, что разработанная конструкция резьбового соединения является работоспособной.

Одним из определяющих факторов надежной работы трибологически безопасного резьбового соединения является выбор материала постоянного магнита. В ходе проделанной работы

были изучены магнитные характеристики резьбового соединения с различными магнитными материалами (рис. 6).

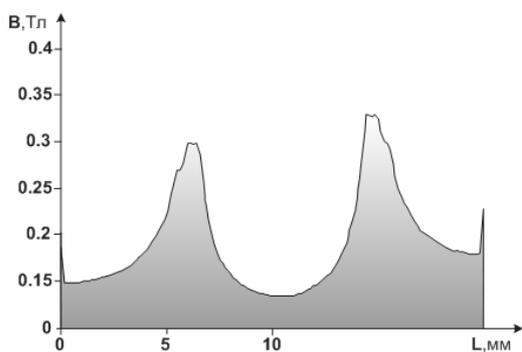


Рис. 5. Распределение магнитной индукции по торцевой поверхности винта

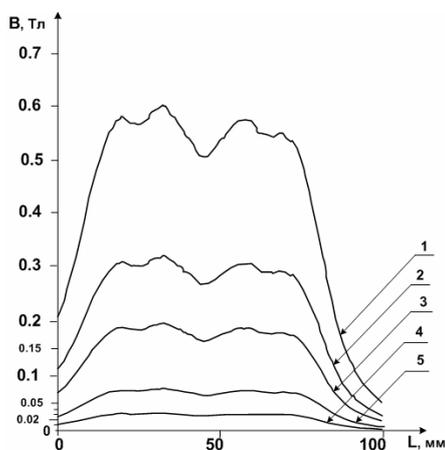


Рис. 6. Зависимость напряженности постоянного магнитного поля на рабочей поверхности винта от материала постоянного магнита, установленного в его теле: 1 – неодим-железобор N34A – 2706 кА/м; 2 – самарий-кобальт S24H – 1440 кА/м; 3 – неодим-железо-бор N34A – 2520 кА/м; 4 – альнико А5.05В – 147 кА/м; 5 – феррит F3.2с – 380 кА/м

Анализ полученной зависимости напряженности постоянного магнитного поля на рабочей поверхности винта от материала постоянного магнита (рис. 6) показывает, что конструкция резьбового соединения будет наиболее рациональной при использовании постоянного магнита на основе неодим-железо-бор.

Спеченный постоянный магнит на основе сплавов типа NdFeB обладает следующими преимуществами перед другими магнитами с точки зрения миниатюризации магнитных и электротехнических устройств:

- имеет более высокие магнитные параметры по сравнению с литым и ферритовым магнитом – NdFeB в 8–10 раз мощнее феррита;
- имеет возможность создания сильных магнитных полей при малых габаритах;
- обладает одним из наилучших отношений энергетического произведения к цене;
- рекомендуется для применения в широком спектре электротехнических устройств, включая электродвигатели большой мощности.

Однако применение магнита на основе сплава NdFeB в устройствах, работающих в условиях высоких температур, становится неэффективным.

На основе вышеизложенного можем сделать вывод о том, что разработанная конструкция резьбового соединения будет работоспособной.

Установлено, что в качестве источника магнитного поля для разработанной конструкции следует использовать постоянные магниты на основе сплава NdFeB. Применение магнитной жидкости обеспечит разделение витков резьбы в соединении, тем самым продлит срок службы соединения, повысит его надежность и работоспособность.

Список литературы

1. Киселев В.В. К проблеме улучшения триботехнических свойств смазочных материалов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2006. – Т.49. – № 12. – С. 113–114.
2. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Повышение надежности пожарной техники применением модернизированных смазочных материалов // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 2. – С. 50–53.
3. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Перспективы применения магнитожидкостных устройств в пожарной и аварийно-спасательной технике // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – № 2. – С. 63–64.
4. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Повышение надежности пожарной техники применением модернизированных смазочных материалов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – №3. – С. 24–28.
5. Пучков П.В., Киселев В.В., Топоров А.В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – №3. – С. 29–32.
6. Киселев В.В., Полетаев В.А. Исследование триботехнических характеристик металлоосажденных присадок к маслам, используемым в электрических машинах // Вестник ИГЭУ. – 2011. – Вып. 2. – С. 65–67.
7. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Перспективы использования модернизированных смазочных материалов в пожарной и аварийно-спасательной технике // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2011. – №3. – С. 23–29.

References

1. Kiselev, V.V. K probleme uluchsheniya tribotekhnicheskikh svoystv smazochnykh materialov [The problem of improving the tribological properties of lubricants], in *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology], 2006, vol. 49, 12, pp. 113–114.
2. Kiselev, V.V., Toporov, A.V., Puchkov, P.V. Povyshenie nadezhnosti pozharnoy tekhniki primeneniem modernizirovannykh smazochnykh materialov [Improving of fire-fighting equipment reliability using the upgraded fire technology lubricants], in *Pozharovzryvobezopasnost'* [Fire and explosion safety], 2010, vol. 19, 2, pp. 50–53.
3. Kiselev, V.V., Toporov, A.V., Puchkov, P.V. Perspektivy primeneniya magnitozhidkostnykh ustroystv v pozharnoy i avariynno-spasatel'noy tekhnike [The prospects of magneto-liquid devices in the fire-fighting and rescue equipment], in *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity* [Scientific and educational issues of civil protection], 2010, 2, pp. 63–64.
4. Kiselev, V.V., Toporov, A.V., Puchkov, P.V. Povyshenie nadezhnosti pozharnoy tekhniki primeneniem modernizirovannykh smazochnykh materialov [Improving the reliability of fire equipment using the upgraded lubricants], in *Nauchnye i*

obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity [Scientific and educational issues of civil protection], 2010, 3, pp. 24–28.

5. Puchkov, P.V., Kiselev, V.V., Toporov, A.V. Razrushenie stroitel'nykh metallokonstruktsiy v usloviyakh pozhara [The destruction of the building metal in fire conditions], in *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity* [Scientific and educational issues of civil protection], 2010, 3, pp. 29–32.

6. Kiselev, V.V., Poletaev, V.A. Issledovanie tribo-tekhnicheskikh kharakteristik metallosoderzhashchikh prisadok k maslam, ispol'zuemym v elektricheskikh mashinakh [Study of tribological characteristics of metal-containing additives to oils used

in electrical machines], in *Vestnik IGEU* [Bulletin of ISPU], 2011, Issue 2, pp. 65–67.

7. Kiselev, V.V., Toporov, A.V., Puchkov, P.V. Perspektivy ispol'zovaniya modernizirovannykh smazochnykh materialov v pozharной i avariynno-spasatel'noy tekhnike [Prospects for the use of upgraded oil and lubricants in the fire-fighting and rescue equipment], in *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity* [Scientific and educational issues of civil protection], 2011, 3, pp. 23–29.

Пучков Павел Владимирович,

Ивановский институт Государственной противопожарной службы,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры механики и инженерной графики,
телефон (4932) 563-709,
e-mail: palpuch@mail.ru

Топоров Алексей Валериевич,

Ивановский институт Государственной противопожарной службы,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры механики и инженерной графики,
телефон (4932) 563-709.

Киселев Вячеслав Валериевич,

Ивановский институт Государственной противопожарной службы,
кандидат технических наук, доцент кафедры механики и инженерной графики,
телефон (4932) 563-709,
e-mail: slavakis76@mail.ru