

УДК 621-034.14.669.14

З.А. Годжаев, профессор, д-р техн. наук,

С.Д. Зайцев, канд. техн. наук,

ОАО «Федеральный исследовательский испытательный центр машиностроения»

ул. НАТИ, д.13, с. Новый Быт, Чеховский р-н, Московская область, Россия, 142322

E-mail: ficm@mail.ru

И.В. Суминов, профессор, д-р техн. наук

Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского (РГТУ «МАТИ»),

ул. Оршанская, д. 3, г. Москва, 121552

О.В. Сомов, канд. техн. наук.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)

Комсомольский проспект д. 29, г. Пермь, 614990

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ИСПЫТАНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКИХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ МДО-КОМПОЗИТОВ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Представлены трибологические исследования и результаты ускоренных испытаний на долговечность оксидированных алюминиевых сплавов на примере торцевого уплотнения с наноструктурированным покрытием центробежного насоса системы охлаждения двигателя Д-180.

Ключевые слова: *технология, композиты, оксидированные алюминиевые сплавы, трибологические исследования, установка, модуль, программа-методика, долговечность, износостойкость, ресурс.*

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного контракта №14.518.11.7025 по мероприятию 1.8 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

Анализ научно-технических материалов исследований и патентный поиск показал, что разработка новых экологически чистых технологий создания многофункциональных поверхностных слоёв и покрытий для защиты и упрочнения поверхностных слоёв поверхности деталей, их стойкости к агрессивным средам и образующему износу в парах трения, в т.ч. торцевых уплотнений центробежных насосов, является актуальной проблемой современной науки и техники.

Повышение долговечности изделий традиционно основано на разработке новых материалов или создание различными методами поверхностных защитных оксидных слоёв. В последнее время для этих целей все шире применяется плазменное воздействие в электролитах нового вида электрохимической обработки поверхности металлических материалов методом микродугового оксидирования (МДО). Указанный метод позволяет получить многофункциональные керамикоподобные наноструктурированные слои на вентильных металлах (алюминий, титан, магний, тантал, ниобий, цирконий и др.) их сплавах и покрытиях из этих сплавов с регулируемым в широком диапазоне составом, структурой и свойствами и использовать их в качестве износостойких МДО покрытий [1-3].

В существующих конструкциях отечественных торцевых уплотнений центробежных насосов одна из вращающихся деталей выполняется из относительно мягкого материала, а ответная деталь пары трения – из твердого материала. При этом в качестве мягкого материала применяется графитсодержащие композиции (типа НАМИ – ГСТАФ-40, графито-свинцовая композиция), материал твердой детали – легированная нержавеющая сталь (ШХ-15, 30Х13 и др.) или серый чугун. Сочетание в паре трения деталей различной плотности не обеспечивает сохранение уплотняющей способности контактной поверхности вращающихся деталей пары трения в процессе эксплуатации.

Пары трения в конструкции торцевых уплотнений центробежных насосов зарубежного производства работают по принципу «твердая по твердой». Для дизельных двигателей ярославского моторного завода (ЯМЗ) в настоящее время используются узлы торцевых уплотнений импортного производства (Германия, Италия) в которых детали пары трения выполнены из технической керамики (SiC – SiC). Детали из технической керамики обладают высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью. Такая пара трения обеспечивает достаточный ресурс водяного насоса, однако, при повышенных оборотах двигателя (>4000 мин⁻¹) возможно растрескивание керамических деталей, что приводит к потере целостности изделия и потере работоспособности торцевого уплотнения.

При разработке технологии по созданию износостойких наноструктурированных композитов на основе алюминиевых сплавов для уплотнений центробежных насосов системы охлаждения двигателей ОАО «ММЗ» и ОАО «ЧТЗ-Уралтрак» были проведены трибологические исследования МДО-покрытия на образцах.

Главным результатом трибологического взаимодействия в процессе изнашивания (процесс разрушения поверхностных слоев твердого тела при механическом воздействии на него другого тела или среды) является износ поверхности материала в зоне контакта. При изнашивании акт разрушения локализуется в малом объеме материала, который удаляется из зоны трения в виде частиц износа. О величине износа обычно судят по уменьшению размера тела в направлении, перпендикулярном к поверхности трения (в случае наличия твердого контртела) – линейный износ, либо массы тела. Результаты же удобнее всего представлять в виде параметра, называемого интенсивность изнашивания, под которым подразумевается удельный износ, например – $dH/dL_{тр}$, где H – величина износа, $L_{тр}$ – путь трения.

В отличие от контактной выносливости при трении скольжения, наличие воды в рабочей зоне повышает сопротивление изнашиванию оксидированных алюминиевых сплавов по сравнению с износостойкостью при испытании на воздухе. Так, износ оксидного слоя на сплаве Д16Т при удельной нагрузке 0,8 МПа за 8 часов испытаний составил 62 мкм, тогда как в воде он снизился в 2,6 раза. Такое влияние, вероятно, связано с уменьшением коэффициента трения и температуры в зоне контакта.

Добавки NaCl в рабочую среду, снижают величину коррозионно-механического износа, причем с повышением концентрации хлорида натрия износостойкость растет. Добавка 0,25 мас. % перекиси водорода H_2O_2 в силикатно-щелочной электролит оксидирования дополнительно снижает линейный износ МДО-покрытия на 30÷50 % в зависимости от концентрации NaCl.

МДО-покрытия также эффективно противостоят гидроабразивному изнашиванию в активных коррозионных средах, например, растворе NaCl и среде NACE (CH₃-COOH (0,25 г/л) и NaCl (5 г/л)).

Исследование влияния различных технологических параметров процесса микродугового оксидирования (время оксидирования, суммарная плотность тока и соотношение катодного и анодного токов) на износостойкость МДО-покрытий на сплаве Д16 проводили по схеме «палец-диск» на универсальной машине трения УМТ-2168.

Покрытия наносили в силикатно-щелочном электролите при мягком анодно-катодном режиме с продолжительностью обработки от 30 до 180 минут, суммарной плотностью тока i от 8 до 12 А/дм² и соотношением катодного и анодного токов I_k/I_a от 0,7 до 1,4. Толщины сформированных в этих условиях покрытий варьировались в диапазоне от 20 до 150 мкм. Испытания (скорость вращения контртела – 60 об/мин) начинали при удельной нагрузке на образец 1 МПа, а после минимизации интенсивности изнашивания давление увеличивали до 2 МПа и продолжали испытания на тех же образцах вновь до ее минимизации. Величину износа измеряли весовым методом на аналитических весах ВЛР-200.

В результате проведенных исследований было выявлено, что минимальной интенсивностью изнашивания, соответствующей максимальной микротвердости (17 ГПа) обладают МДО-покрытия, сформированные в течение 150 минут при суммарной плотности тока 10 А/дм² и соотношении катодного и анодного токов 1,4.

Следует отметить зависимость интенсивности изнашивания от плотности тока, приведенную на рисунке 4. У образцов, прооксидированных при суммарной плотности тока 8 А/дм², износ при большем давлении был ниже, а при 12 А/дм² – выше, при этом для 10 А/дм² интенсивность изнашивания была примерно равной для обеих удельных нагрузок. Данный факт можно объяснить слоистой структурой МДО-покрытий, с учетом того, что наружный, относительно мягкий технологический слой у покрытий, полученных при меньших плотностях тока, был толще, чем полученный при высоких плотностях.

Таким образом, пары трения покрытие-покрытие, покрытие-сталь инструментальная и покрытие-фторопласт можно отнести к антифрикционным, поскольку их коэффициент трения скольжения не превышает 0,15, причем пара покрытие-фторопласт показывает минимальный коэффициент трения для всех сплавов и толщин покрытия.

Таким образом, исследования МДО-покрытий в плане износостойкости и антифрикционных свойств показали их высокие служебные характеристики. По сравнению с другими покрытиями, прежде всего металлическими, МДО-покрытия выгодно отличаются: высокая прочность сцепления с основой; повышение износостойкости в процессе изнашивания, благодаря росту микротвердости и снижению пористости и коэффициента трения.

Для оценки показателей долговечности и надежности опытных уплотняющих узлов водяного насоса двигателей мобильных машин, работающих в условиях разовой эксплуатации, разработана программа и методика проведения испытаний на долговечность деталей торцевых уплотнений центробежных насосов система охлаждения двигателей мобильных машин, сокращающих продолжительность испытаний в 2 – 2,5 раза [6, 7].

- исходные данные для разработки методики;
- контролируемый параметр: наработка на отказ и ресурс (скорость изнашивания не менее 0,5 нм/мин);
- предельное значение контролируемых параметров наработка на отказ – 610 ч, ресурс – износ поверхностного слоя – 100 мкм;

– количественные характеристики параметров режима внешних воздействий (частота вращения, продолжительность, температура, усилие, сжатие) [8];

– значение параметров внешних воздействий, обеспечивающие предельную степень форсирования режима испытаний при условии отсутствия влияния форсирования на последующую скорость изнашивания в нормальном режиме; (частота вращения 3000 мин⁻¹; продолжительность испытаний 360 ч, температурный режим 65 – 110 °С);

– допустимая предельная погрешность измерения износа – 1 мкм по размеру и 1·10⁻⁴ г по весу;

– режим приработки не менее 10 ч.

Для сравнительной оценки показателей безотказности и долговечности экспериментальных образцов уплотнений водяного насоса системы охлаждения двигателя был взят водяной насос двигателя Д-180 трактора Т10М, $\gamma=70\%$ составляет 10000 ч, наработка на сложный отказ 410 ч.

Программа испытаний, разработанная в соответствии с эксплуатационной нагруженностью промышленного трактора Т10М с двигателем Д-180 с ускорением в 1,5 – 2 раза по продолжительности.

На основании исследований и в соответствии с программой-методикой испытаний разработан модульный блок к стенду УСУ «Климат» для испытаний торцового уплотнения центробежных насосов системы охлаждения двигателя мобильных машин, работающий при температуре +60 -60°С.

Модульный блок включает агрегаты, механизмы и системы:

– холодильная камера TV-1000, температурный режим: плюс 100 °С и минус 60 °С хлоропроизводительность при -60 °С – 1000 ккал/ч $N_n=19,9$ кВт, частота вращения 3000 мин⁻¹; $M_n=44$ Н·м;

– водяной насос двигателя Д-180;

– система, обеспечивающая циркуляцию охлаждающей жидкости, перекачиваемой водяным насосом;

– контрольно-измерительный комплекс с набором датчиков, регистрирующей и управляющей аппаратуры;

– управляющий комплекс регулирования температуры.

В процессе проведенных испытаний установлено:

– экспериментальные образцы деталей уплотнения центробежного насоса двигателя Д-180 трактора Т10 прошли ускоренные испытания в объеме 360 ч, что соответствует 610 ч рядовой эксплуатации и максимальной наработке на отказ второй группы сложности по нормативам 2010 г.;

– отказов и неисправностей водяного насоса за период работы в объеме 360 ч не обнаружено.

Ускорение испытаний обеспечено за счет увеличения частоты вращения до 3000 мин⁻¹, температурного режима при работе на высоконагруженных операциях (бульдозирование) и увеличения усилия снятия шайб, уплотнений насоса на 20 %.

Износ поверхности вращающейся и неподвижной шайб по толщине составил соответственно 2,5-2,87 мкм – интенсивность изнашивания шайб трения уплотняющей части насоса составил вращающейся и неподвижной соответственно 0,5-0,75 нм/мин.

Прогнозируемый срок службы уплотняющих шайб насоса 21600 ч.

Выводы

1 Трибологические испытания образцов центробежного насоса двигателя Д-180 с экспериментальными деталями торцового уплотнения из алюминиевого сплава Д16Т с металлооксидным композиционным покрытием по технологии МДО подтвердили их высшие эксплуатационные характеристики: высокая прочность сцепления с основой; повышение износостойкости в процессе изнашивания благодаря росту микротвердости и снижению пористости и коэффициента трения.

2 Представлены результаты испытаний торцовых уплотнений с наноструктурированным покрытием центробежного насоса системы охлаждения двигателя Д-180, подтверждающие высокие показатели назначения.

Библиографический список использованной литературы

1. Микродуговое оксидирование (Теория, Технология, оборудование) / И.В. Суминов [и др.]. — М.: ЭКОМЕТ, 2005. — 368 с.

2. Plasma electrolysis for Surface engineering / A.L. Verokin, X. Nie, A. Leyland, A. Matthews, S.I. Dowg // Elsevier Science, Surface and Coatings Technology. — 1999. — V. 122. — P. 73–93.

3. Natter H. Nanocrystalline nickel and nickel – copper alloys / H. Natter, M. Schmelzer, R. Hempelmann // J. Mater. Res. — 1998. — V. 13. — № 5. — P. 1186–1197.

4. <http://nasos-pump.ru> Направление (Сомов)

5. Износостойкость и трибологические свойства наноструктурированных композитов, полученных методом МДО / З.А. Годжаев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. — 2013. — № 3.

6. ГОСТ 23734-98 Тракторы промышленные. Методы испытаний [Текст]. — Ввод. 2000-07-01. — М: Издательство стандартов, 1999. — 16 с.

7. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность [Текст]. — Ввод. 2000-07-01. — М: Издательство стандартов, 1988. — 9 с.

8. ГОСТ 23.205-79. Обеспечение износостойкости изделий. Ускоренные ресурсные испытания с периодическим форсированием режима [Текст]. — Ввод. 1979-02-22. — М: Издательство стандартов, 1979. — 60 с.

Поступила в редакцию 16.04.2013 г.

Годжаев З.А., Зайцев С.Д., Суминов І.В., Сомов О.В. Дослідження трибологічних властивостей і випробування на довговічність стійкості спрацювання наноструктурованих поверхонь МДО-композитів на алюмінієвих сплавах

В даній роботі представлені трибологічні дослідження і результати ускорених випробувань на довговічність окислених алюмінієвих сплавів на прикладі торцевих ущільнень 3 наноструктурованим покриттям відцентрового насоса системи охолодження двигуна Д-180.

Ключові слова: технологія композитів, окислені алюмінієві сплави, трибологічні дослідження, установка, модуль, програма-методика, довговічність, стійкість спрацювання, ресурс.

Godjaev Z.A., Zaycev S.D., Suminov I.V., Somov O.V. Research of frictional characteristics and test of longevity durable nanostructured surface of MDO-composites on aluminum alloy

Frictional research and results of accelerated testing on longevity of oxidized aluminum alloy on castellated multiplex with nanostructured covering inclined pump of cooling systems for D-180 is presented.

Keywords: technology, composites, oxidized aluminum alloy, frictional characteristics, module, unique bench (test-bench) installation, durability, longevity, resource.