

УДК 620.1

С.В. Трубицин, магистр; научный руководитель: М.С. Островский, проф., д.т.н.; МГГУ.

4. Исследование фреттингостойкости прецизионных пар трения гидроагрегатов горных машин.

Research fretting firmness of precision pairs of a friction of hydrounits of mountain machines

Изложены требования, предъявляемые к прецизионным парам трения, описан новый экспериментальный метод оценки и исследования защитных свойств поверхностного слоя деталей гидравлики с точки зрения фреттинг-процессов. Приведенная в докладе установка позволяет увеличить количество экспериментальных данных, что положительно скажется на разработке и уточнении модели фреттинг-коррозии, оценке ресурса прецизионных пар трения.

The requirements, presented to the precision friction pairs, are presented, the new experimental method of estimation and study of the shielding properties of the surface layer of the components of hydraulics from the point of view of fretting- processes is described. The installation given in the report makes it possible to increase a quantity of experimental data, which positively will affect development and refinement of the model of fretting corrosion, estimation of the resource of precision friction pairs.

Ключевые слова: горные машины, гидропривод, прецизионные пары, золотниковые устройства, надежность, фреттинг.

Mountain machines hydrodrive, precision steams, valve devices, reliability, fretting.

Важнейшим требованием, предъявляемым к авиационной промышленности, является обеспечение высокой надежности авиационной техники. В целях повышения ее надежности решается важная научно-техническая проблема установления физической сущности причин отказов и преждевременного выхода из строя конкретных узлов и агрегатов летательных аппаратов. Кроме того необходим научно обоснованный анализ конструктивных, технологических, эксплуатационных факторов, определяющих работоспособность наименее ответственных деталей и выработка на его основе мероприятий и предложений, обеспечивающих их безотказность.

Несмотря на то, что современная авиационная техника обладает высокой надежностью, необходимо учитывать, что она оснащена сложными гидроагрегатами, выполняющими ответственные функции в системах управления летательным аппаратом и топливной автоматики авиационных двигателей, отказы которых могут создавать предпосылки к летным пришествиям.

В производственно-технической и научной литературе достаточно широко и подробно освещены вопросы гидродинамики, конструирования, принципы действия авиационных гидроагрегатов, нецелесообразные методы и способы выявления и предупреждения неисправностей. Это существенно затрудняет объективное установление причин отказов авиационной техники в процессе ее эксплуатации и ремонта, а также учет положительного опыта в целях повышения надежности и безотказности топливных и гидравлических систем при создании новых образцов гидроагрегатов.

Гидравлические и топливные системы летательных аппаратов относятся к числу наиболее ответственных с точки зрения безопасности полета, так как они непосредственно влияют на работоспособность силовой установки, системы управления рулями и элеронами, других элементов связанных с выполнением пилотирования, взлета и посадки. Надежность гидравлических систем в значительной степени зависит от безотказной работы прецизионных пар трения, выполняющих функции чувствительных элементов автоматических регулирующих устройств, вытеснительных элементов насосов, распределительных элементов следящих гидроприводов и других ответственных узлов.

Детали прецизионных пар являются самыми сложными и дорогостоящими в производстве среди других деталей гидравлических агрегатов. Величина диаметрального зазора в зависимости от размера и назначения прецизионной пары может быть от 2-3 мкм до нескольких десятков. Детали прецизионных пар могут иметь возвратно-поступательное, вращательное, возвратно-вращательное перемещения либо их сочетание. Привод деталей может осуществляться механически с помощью жестких или упругих элементов, гидравлически (за счет изменения давления рабочей жидкости), электрически (с помощью электромагнитных устройств). Иногда для привода используется комбинация вышеперечисленных способов.

По величине действующих усилий, размерам и скорости перемещения деталей прецизионные пары могут различаться между собой в десятки раз. Так же усилия со стороны жидкости и пружин могут варьироваться в широких пределах. Несмотря на существенные различия в применяемых материалах, конструктивных особенностях, назначении и условиях работы, все прецизионные пары имеют общие признаки, позволяющие объединить их в самостоятельный тип подвижных сопряжений машин с характерными для него видами и причинами отказов и неисправностей.

По особенностям конструкции, технологии производства и ремонта, условиям нагружения и эксплуатации, специфике отказов и неисправностей прецизионные пары топливно-гидравлических агрегатов представляют собой своеобразный тип подвижных сопряжений деталей машин.

Среди них наиболее широко распространены золотниковые пары, представляющие собой чувствительные и регулировочные элементы, автоматически изменяющие или ограничивающие по заданной программе давление, его перепад в смежных областях или расход жидкости.

Однако, все прецизионные пары имеют общий признак, позволяющий объединить их в самостоятельный тип подвижных сопряжений машин с характерными для него видами и причинами отказов и неисправностей.

Основным конструктивно-функциональным признаком прецизионных пар является подвижное сопряжение двух деталей с зазором порядка 0,01 мм, обеспечивающие бесконтактное уплотнение, выполняющее функции чувствительного, регулирующего, распределительного или вытеснительного элемента в гидравлических и топливных агрегатах.

Основными требованиями, предъявляемыми к прецизионным парам трения, являются высокая стабильность малых по величине сил трения и внутренняя герметичность, то есть наличие минимальных, не увеличивающихся в процессе работы выше допустимого предела утечек топлива или рабочей жидкости через зазоры между деталями.

Требование малых усилий трения, например, в регулирующих устройствах определяется необходимостью обеспечить высокие свойства чувствительных элементов, следящих за изменением давления или перепадом давления в соответствующих полостях агрегата.

Функции чувствительного элемента обычно выполняет золотник, который находится под воздействием давления жидкости и пружины. Под термином золотник понимается подвижная деталь, находящаяся в направляющей (гильзе) любой, независимо от конструкции, прецизионной пары, выполняющей функции регулирующего или распределительного устройства.

Малейшие изменения давления топлива или рабочей жидкости должны приводить к перемещениям золотника относительно гильзы и изменениям расхода жидкости через соответствующие каналы, связанные с золотниковой парой. По мере увеличения сил трения между золотником и гильзой минимальное значение прироста давления, на которое реагирует золотник, возрастает. Следовательно, рабочие свойства чувствительного элемента ухудшаются: понижается чувствительность регулятора к регулируемому параметру, повышается статическая ошибка системы регулирования.

Практически все отказы и неисправности золотниковых пар вызываются повышением (в сравнении с требованиями технических условий) трения или утечек

рабочей жидкости через зазоры между деталями. При этом, увеличение утечек рабочей жидкости через зазоры, вызываемые износом деталей золотниковых пар, происходит постепенно и связанные с этим отказы могут быть своевременно выявлены и предупреждены.

Отказы регулирующих золотниковых пар с невращающимися золотниками в большинстве случаев проявляются в виде временного зависания золотника в гильзе, после чего золотниковая пара может работать без каких-либо регистрируемых отклонений от нормы.

Отказы, связанные с повышением трения в золотниковых парах, носят внезапный характер и происходят относительно редко.

Разрушение и заклинивание прецизионных пар, как правило, приводит к отказу и снятию с эксплуатации агрегатов. При капитально-восстановительном ремонте, детали прецизионных пар топливных и гидравлических агрегатов в значительном количестве отбраковываются из-за повреждений, образующихся при эксплуатации.

Значительно влияет на износ и долговечность гидравлических систем зарастание щелевых зазоров поляризованными молекулами рабочей жидкости и загрязняющими частицами, часто обладающими абразивными свойствами.

Приведенная классификация отказов прецизионных пар горных машин еще раз доказывает необходимость повышения качества рабочих поверхностей, в первую очередь, с точки зрения износостойкости и фреттингостойкости.

Для всех золотниковых пар топливных и гидравлических агрегатов, при всем многообразии их конструктивных форм и функциональных особенностей, требование стабильности трения является общим и определяющим безотказность их эксплуатации.

Необходимость высокой герметичности зазоров прецизионных пар вытекает из выполняемых ими функций: создание давления в системе и распределение потока жидкости между полостями гидроагрегатов. Очевидно, что с увеличением утечек жидкости через зазоры качество регулирования и производительность уменьшается.

Принципиально, работающая золотниковая пара идентична колебательной системе пружинного маятника: обладающее массой тело совершает колебательные движения и подвергается воздействию упругой силы. В таких условиях в точках подвижного контакта происходит непрерывное разрушение поверхностного слоя деталей. Этот процесс является основной причиной отказов прецизионных пар, и получил название фреттинг-коррозии.

Разрушение поверхностного слоя золотниковых пар трения приводит к увеличению утечек, снижая объемный коэффициент полезного действия гидроагрегата. Дефекты

поверхностного слоя, получаемые в результате фреттинга, вызывают увеличение трения между золотником и гильзой, снижая чувствительность и увеличивая статическую ошибку управляющей аппаратуры.

В данный момент наиболее распространенным методом защиты поверхностного слоя является химико-термическая обработка. Ее основными недостатками являются: высокая энергоемкость, большая длительность и коробление геометрической формы детали, вызываемое ее нагревом и охлаждением.

Сегодняшний этап научно-технического развития позволяет применять современные методы поверхностного упрочнения лишены этих недостатков:

- лазерное, электронно-лучевое, плазменное и детонационное упрочнение;
- вакуумное ионно-плазменное упрочнение, ионное магнетронное распыление, ионное легирование;
- магнитное упрочнение;
- упрочнение наплавкой;
- нанесение защитных покрытий.

Проведенные практические испытания прецизионных пар трения, применяемых в авиации показали, что вакуумное ионно-плазменное нанесение покрытия TiN обеспечивает высокую микротвердость поверхности (1800-2500 кгс/мм²), низкую склонность к схватыванию и пониженный (в 2-3 раза) коэффициент трения по сравнению с металлическими парами. Эти характеристики обеспечивают повышение эрозионной стойкости поверхности детали до 50% при абразивном изнашивании. Покрытия с нитридом титана имеют пониженный электрохимический потенциал, что уменьшает коррозионные явления.

Получение экспериментальных данных в процессе эксплуатации связаны с рядом проблем. В первую очередь для достоверной картины требуется значительное количество испытуемых объектов и время эксплуатации. Более просто получать данные путем моделирования на экспериментальных стендах.

Основной проблемой экспериментов такого рода является моделирование процессов фреттинга элементов пары трения с образцом из стали 45. Для более точной оценки долговечности возникает необходимость для экспериментального исследования реального контакта поверхностей в условиях фреттинг-взаимодействия.

Для экспериментального моделирования такого взаимодействия предлагается установка «Вибротриботестер».

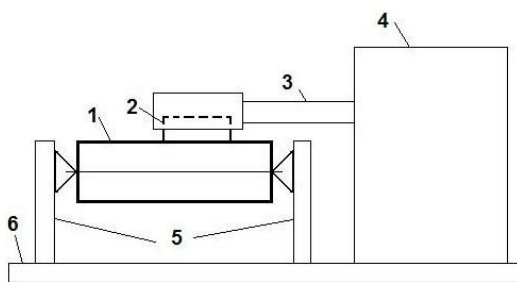


Рис. 21. Устройство «Вибротриботестер»,

- где 1 - исследуемый образец;
- 2 – контрообразец;
- 3 - штанга для крепления контрообразца;
- 4 – вибростол;
- 5 - крепления образца;
- 6 – основание установки.

Колебания вибростола (4) вызывают локальные повторяющиеся перемещения исследуемых поверхностей и приводят к появлению процесса фреттинг-коррозии и разрушению поверхностного слоя. Для испытаний в жидких смазочных материалах, возможна установка камеры, заполняемой рабочей жидкостью. На креплениях образца и контрообразца установлены специальные датчики вибрации – пьезоакселерометры. Их подключение к осциллографу позволяет оценивать и документировать значения виброскорости, виброускорения и вибросмещения.

Согласно действующему ГОСТ 23211-80 аналитический анализ результатов эксперимента начинается с исследования профиля исходной и обработанной поверхности. При этом строятся их профилограммы и проводятся средние линии профиля.

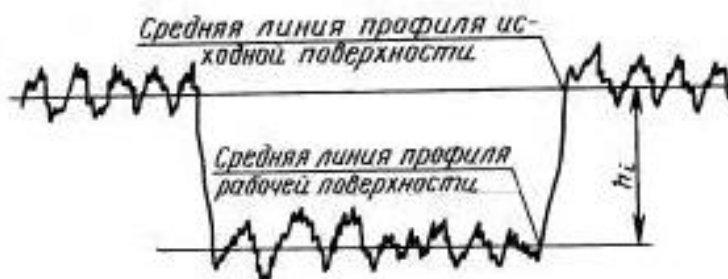


Рис. 22. Профилограммы профилей исходной и обработанной поверхностей.

Далее находится расстояние между ними h_i .

Вычисляем средний износ j -го образца h_j , мкм, по формуле

$$h_j = \frac{\sum_1^p h_i}{p};$$

где p – число исследуемых пар;

h_i – расстояние между средними линиями исходного и отработанного профиля.

Вычисляем интенсивность изнашивания I_h испытываемого образца по формуле

$$I_h = \frac{\sum_1^8 h_j}{2 \cdot A \cdot N \cdot k}$$

где A - амплитуда, мкм

N - число циклов испытаний

k - количество испытанных образцов материала

Данная установка позволяет проводить испытания пар трения с любым типом покрытий и термообработкой поверхности. Использование данной установки позволит проводить натурные эксперименты и расширить исследовательскую базу новыми данными. Это позволит уточнить модель процесса фреттинга, более точно прогнозировать ресурс прецизионных пар трения, выявить и применять более эффективные методы защиты поверхностного слоя деталей и в итоге увеличить надежность авиационных гидравлических агрегатов.

Список литературы:

1. **Лозовский В.Н.** Диагностика авиационных топливных гидравлических агрегатов. – М.: Транспорт, 1979, 295 с.
2. **Суслов А.Г.** Инженерия поверхности детали.– М.: Машиностроение, 2008, 684 с.
3. **Москвитин Г.В.** Методы упрочнения поверхностей деталей машин. – М.: Красанд, 2008, 400 с.