

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

УДК 621.891

*М. Н. Свирид, канд. техн. наук, доц.,
В. Г. Паращанов, инж.,
А. Н. Химко, канд. техн. наук, доц.,
И. Ю. Беспалов, инж.*

МОНИТОРИНГ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УЗЛА ТРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕНОСА МАССЫ

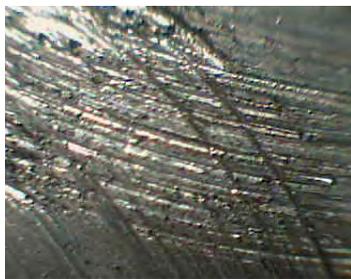
Национальный авиационный университет

Представлен процесс трибоэлектрохимического мониторинга поверхности трения в динамическом режиме. Рассмотрена технология репарации в электропроводных средах полиэтиленгликоля в целях создания положительного градиента трения за счет переноса мягких материалов (Си, Рb). Приведены количественные результаты формирования восстановленного трибологического слоя мягкими материалами.

Введение. Сложная структура и техническое разнообразие системных деталей гидроприводов, используемых в новейших транспортных средствах, со временем нуждаются в обслуживании и ремонте. Основной причиной выхода их из строя в процессе эксплуатации является изнашивание прецизионно-соприкасающихся поверхностей трения плунжерной пары или шестерен прокачивающихся механизмов (рис. 1). Создание поверхностей трения с заранее заданными свойствами с последующим безразборным техническим обслуживанием представляется сложным технологическим процессом, требующим тщательного изучения.

Целью данной работы есть проведение мониторинга технологии восстановления поверхностей трения трибоэлектрохимическим методом, определение параметров технологического процесса репарации в модельных условиях.

Основным способом снижения интенсивности изнашивания и повышения трибологических свойств в машинах и механизмах является использование смазочных материалов с различными добавками, как металлическими, так и неметаллами. Однако существует целый ряд режимов эксплуатации, при которых их эффективность недостаточна. Работоспособное состояние узла трения зависит от характера и условий распределения энергетических потоков в механизме трения.



a



б

Рис. 1. Крышка шестеренчатого насоса, трение по торцу шестерни: *a* – поверхность трения алюминиевого сплава после взаимодействия с шестерней из сплава на основе железа; *б* – поверхность трения сплавов на основе железа

Одним из условий существования внешнего трения является наличие положительного градиента механических свойств каждого из трущихся тел по глубине. Положительный градиент может быть обеспечен за счет применения более мягких покрытий (жидких, твердых смазок) или в результате нанесения мягких материалов на поверхности взаимодействия деталей. Двойственность природы внешнего трения обусловлена преодолением адгезионных сил, возникающих между двумя телами, и преодолением сопротивления к объемному деформированию материала, обтекающего неровности. Образование поверхности раздела на границе металла и окружающей среды имеет меньшую микротвердость, чем слои, лежащие непосредственно под поверхностным слоем, микротвердость которых достигает максимальных значений.

Изменение энергетического состояния поверхностей трения, взаимодействуя с внешней средой, образует третье промежуточное тело со своими трибологическими рабочими параметрами, на которые тратится энергия или работа трения, приобретенная от прилагаемых усилий в механизме. В работе [1] выражены основные принципы энергетического обеспечения работы трибосистемы и предложен трибоэлектрохимический способ управления их энергетическими состояниями.

Принято, что основное предназначение трения – это процессы разрушения и уноса материала с поверхности трения. Но, изменяя внешние параметры воздействия на свойства узла трения, возможно добиться такого состояния трибосистемы, при котором ус-

ловия работы узла трения изменятся в сторону добавления материала на поверхность трения. Установлено, что в открытых трибосистемах, которые постоянно получают из внешней среды негативную энтропию вещества, могут возникать стационарные неравновесные состояния с высокой степенью организованности. Такие системы получали название безызносных [2].

Использование поверхностно-активных сред – один из путей перенесения свободных электронов в жидкостях, положительно влияющих на условия трений и изнашивания.

Мягкие металлы (молибден, олово, медь, свинец, серебро и др.) могут вноситься в зону трения в молекулярном и тонкодисперсном виде или на ионном уровне в результате химических реакций компонентов смазочного масла с источником мягкого металла.

Исследуемые материалы. Наиболее ответственные части шестеренчатых насосов изготавливаются из сплавов на основе железа и обрабатываются на мартенсит. Плунжерные пары изготавливаются из углеродистых сплавов и медного цилиндра. Для образца нами выбрана сталь 45, обработанная на мартенсит. Нагрузка изменялась от 5 до 10 МПа на скорости 0,3 м/с. Масса трибосистемы уменьшается на величину $m_{\text{изн}}$, для стабилизации массы элементов необходимо осуществить восстановление на массу $m_{\text{восст}}$, с обеспечением положительного градиента трения. Для рабочего электрода взяли материал анода свинец и медь. Контртелом служило стекло как прозрачный, твердый и химически нейтральный материал. Возможность провести мониторинг преобразования поверхности трения представляется только на прозрачном материале. Реагентом-переносчиком использовали полиэтиленгликоль 400 с различной концентрацией. Для проведения трибоэлектрохимического процесса напряжение изменяли в широком диапазоне – от 35 до 200 В, при котором начальный ток составил 0,5 мА с последующим изменением до 90 мА.

Методика исследования. Относительно тяжело получить пассивирующую поверхность во время трения. Используя разработанный в лаборатории трибологический комплекс для определения характеристик узла трения, имели возможность провести мониторинг изменения топографии поверхности, оценить временные и количественные параметры созданных пленок окислов и их геометрические размеры.

Значения динамических параметров образования трибологических пленок позволяют расширить наши представления о физических процессах контактного взаимодействия и дают возможность более обоснованно подходить к вопросам диагностики износа [3].

Измеряя ток между образцом и вспомогательным электродом, получим ток, пропорциональный количеству электричества, выходящего из поверхности образца или направленного на его поверхность.

Результаты эксперимента. На базе исследований (рис. 2) износ образца стали 45 в условиях трения-скольжения без вспомогательного электрода на скорости 0,3 м/с, с рабочей площадью контакта 0,041 см² в ПЭГ 25 % при напряжении 35 вольт:

а) масса износившегося материала стали 45 за один километр пути составила: $m_{\text{изн}}^{\text{Fe}} = 8,34 \times 10^{-5}$ (г);

б) объем износившегося материал: $V^{\text{Fe}} = 1,07 \times 10^{-5}$ (см³);

в) линейный износ: $L^{\text{Fe}} = 1,07 \times 10^{-5} / 0,041 = 2,61 \times 10^{-4}$ (см).

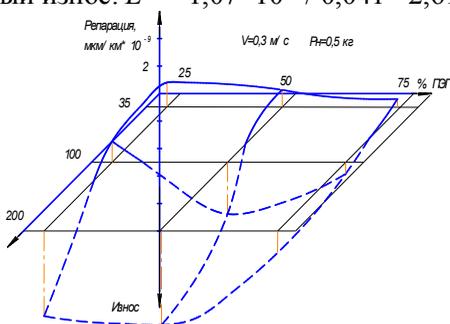


Рис. 2. Характер работоспособности узла трения стали по стеклу со свинцовым электродом. Интенсивность износа стали по стеклу с вспомогательным электродом из свинца

Для стабилизации работы трибосистемы необходимо восстановить поверхность трения на длину $L = 2,61$ мкм (см. рис. 2). Сохраняя условия положительного градиента поверхности трения, используем материалы вспомогательного электрода свинца с удельной плотностью 11,34 г/см³ или меди соответственно – 8,96 г/см³. Перенос материалов различных удельных плотностей на сталь (удельный вес 7,8 г/см³) сопряжено с изменением электрохимического процесса. На основании закона Фарадея для выделения из раствора электролита одного грамм-эквивалента любого веще-

ства нужно пропустить через раствор 96500 кулонов электричества.

Из условий процесса восстановления наибольший прирост материала на поверхность трения составил на режиме 35 В 25 % ПЭГ, при котором наблюдали ток силой в 0,09 А (см. рис. 2). Учитывая, что валентность металла анода ($Pb = 2$) и время переноса материала (t) вспомогательного электрода, получим массу восстановившегося материала

$$m_{(x)} = ((I \times t) / F) \times (M_{(x)} / n)$$

где $m_{(x)}$ – количество восстановленного вещества (г); I – сила пропускаемого тока (а); t – время электролиза (с); $M_{(x)}$ – молярная масса; n – число приобретенных или отданных в окислительно-восстановительных реакциях электронов; F – постоянная Фарадея (96 500 кул/моль).

Количество электричества, прошедшего через фактическую площадь контакта, будет

$$Q_{Pb} = I \times t = 0,09 \times 3333 = 299,97 \text{ [А} \times \text{сек] [К].}$$

Растворенная масса вспомогательного электрода (свинца)

$$m_{\text{восст}}^{Pb} = (207,2/2 \times 299,97) / 96500 = 0,322 \text{ (г).}$$

Объем материала восстановления:

$$V_{\text{восст}}^{Pb} = 0,322 / 11,34 = 0,028 \text{ (см}^3\text{).}$$

Исходя из полученных расчетов, необходимо нарастить 2,61 мкм материала (свинца) на поверхность трения.

Из рис. 3: максимальный перенос 1,4 мкм меди на площади 0,041 см², на поверхность трения стали 45 проходит на режиме 35В, 25 % ПЭГ с силой тока 0,035 А. Учитывая валентность металла анода ($Cu = 2$) и время переноса материала (t) вспомогательного электрода, получим массу восстановившегося материала

$$Q_{Cu} = I \times t = 0,035 \times 3333 = 116,66 \text{ [А} \times \text{сек] [К].}$$

Растворенная масса вспомогательного электрода (медь):

$$m_{\text{восст}}^{Cu} = (64/2 \times 116,66) / 96500 = 0,039 \text{ (г).}$$

Объем материала восстановления:

$$V_{\text{восст}}^{Cu} = 0,039 / 8,96 = 0,0043 \text{ (см}^3\text{).}$$

Процесс восстановления проходит параллельно с уносом материала из зоны трения, а также растворением в жидкости.

Расчеты показывают, что объем материала, растворенного на аноде для восстановления поверхности трения, превышает необходимое количество для восстановления:

$$V_{\text{разница}} = V^{Pb} / V^{Fe} = 0,028 / 1,07 \times 10^{-5} = 2616 \text{ (раз);}$$

$$V_{\text{разница}} = V^{\text{Cu}} / V^{\text{Fe}} = 0,0043 / 1,07 \times 10^{-5} = 402 \text{ (раза)}.$$

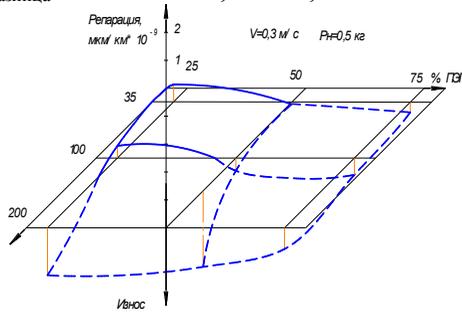


Рис. 3. Трибологические характеристики стали 45 в условиях трибоэлектрохимического восстановления в среде ПЭГ в зависимости от напряжения на вспомогательном электроде меди

Из результатов эксперимента видно, что увеличение тока до 9...12 мА способствует прохождению режима репарации. Исследование химического состава (рис. 4) поверхности образца на растровом электронном микроскопе РЭМ указывает на повышение содержания свинца до 65 % (на рис. 5 темные пятна), отчего увеличивается вес образца.

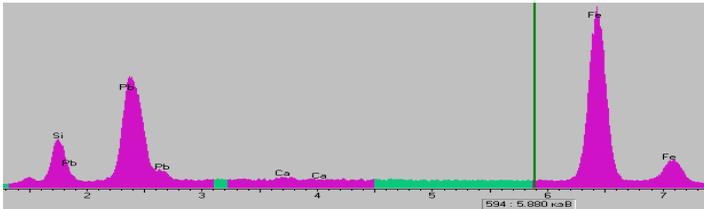


Рис. 4. Химический состав поверхности трения стали 45 после трибоэлектрохимической обработки в среде 25 % раствора ПЭГ-400 (Fe~29 %, Si~4 %, Pb~65 %)

Существует бесконечное количество всевозможных присадок на основе мягких металлов (молибден, олово, свинец, медь, серебро и др.), которые могут вноситься в зону трения в молекулярном тонкодисперсном виде или на ионном уровне в результате химических реакций компонентов смазочного масла с источником мягкого металла. На рис. 3 показаны результаты проведения репарации с медным вспомогательным электродом.

Технология создания тонкодисперсного состояния смазывающей среды связана с двумя основными проблемами: 1) создание



Рис. 5. Поверхность стали 45 со свинцовым покрытием

прекращении циркуляции масла. Второй способ связан с реализацией избирательного перенесения, управления которым носит пока сугубо случайный характер и выявляется очень редко.

Присадки, которые активизируют силы сцепления смазочного масла с поверхностью трения, могут быть очень эффективными по противоизносным и, особенно, противозадирным характеристикам, но у них есть существенные недостатки: 1) действие таких присадок продолжается до тех пор, пока они присутствуют в смазочном масле в достаточной концентрации; 2) такие присадки, как правило, не только не являются антифрикционными, но даже способны увеличивать сопротивление трения; 3) обычно высокие концентрации таких присадок могут влиять на состав смазочного масла.

Условия жидкостного трения сопровождаются сглаживанием поверхности за счет деформации вершук топографии поверхности. Последующее сглаживание поверхности в поверхностно-активных жидкостях проходит при нагромождении элементов из жидкости. Для повышения агрессивности оседания ионов вспомогательного электрода (свинца) использовали направленный электрический ток. При деформировании поверхности в местах фактического контакта концентрируется наибольшая энергетическая нестабильность. Там, где есть нестабильность, там всегда будет изменение в сторону уменьшения поверхностной энергии, которая может проходить при внедрение ионов металла в наработанную поверхность с образованием защитных пленок.

Использование мицеллообразующих поверхностно-активных веществ (ПАВ) на основе полиэтиленгликоля в водных растворах характеризуется расположением неполярных углеводородных радикалов молекул, образующих ядро мицеллы, а полярные группы

стойкой суспензии тонких частиц мягких металлов; 2) соотношение между допустимой концентрацией таких металлов в циркулирующем масле и концентрацией, достаточной для обеспечения эффекта плакирования.

Кроме того, тонкий разделительный слой мягких металлов не оберегает поверхность трения от задиров в экстремальных случаях, то есть при

обращены к воде. Мицеллообразование в растворах коллоидных ПАВ является наиболее термодинамически выгодным процессом по сравнению с процессами образования истинного раствора или разделения фаз. Образование мицелл в растворах коллоидных ПАВ, как и адсорбция молекул ПАВ в поверхностном слое, протекает произвольно.

Технология процесса восстановления проходит под действием трения. На поверхностях трения одновременно протекает большое количество процессов: поток тепла; потоки вещества; физико-химические процессы взаимодействия тел со средой; деформация; структурные, фазовые превращения и др. Переносчиками ионов металла свинца являются мицеллы полиэтиленгликоля. В местах поверхностных дефектов (точечных дефектов кристаллической решетки или линейных дислокаций) ионы зацепляются за энергетические несплошности, компенсируя повышенную энергетику поверхности.

Выводы:

1. Анализируя результаты расчетов и сравнивая с результатами исследований график (см. рис. 2) и металлографию (см. рис. 3) приходим к выводу, что расчетные данные не подтверждаются исследовательскими, причем избыток перенесенного материала на два-три порядка больше.

2. Установлены трибоэлектрохимические параметры восстановления поверхности трения мягкими материалами с целью получения положительного градиента трения.

3. Показана методика расчета количественных параметров замены материалов для проведения режима репарации.

4. Результаты исследований могут быть применены для восстановления отработанных поверхностей трения масло-, гидро- и бензонасосов.

Список литературы

1. *Бурлакова В.Э.* Триботехника эффекта безызносности: [Моногр.] / В. Э. Бурлакова. – Ростов н/Д.: – ДГТУ., 2005. – 211 с.

2. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (знос и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.

3. *Кравец А.И.* Репаративная регенерация трибосистем: Изд-во Бережан. агротехн. ин-та, 2003. – 284 с.

Стаття надійшла до редакції 27.02.09.