

**Шевеля В.В.,
Джымала Адам,
Калда Г.С.,
Олександренко В.П.**
Жешувский политехнический
университет, г. Жешув, Польша
Технологический университет
Подолья, г. Хмельницкий, Украина

О РОЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ И КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФРЕТТИНГЕ В СРЕДЕ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА

Надежность автоматики топливорегулирующей аппаратуры авиадвигателей существенно зависит от безотказной работы прецизионных деталей узлов трения. Прецизионные пары (золотниковые, плунжерные и др.) являются чувствительными элементами систем автоматического регулирования подачи топлива. Несмотря на многообразие конструктивных форм и функциональных особенностей имеются некоторые общие требования, предъявляемые к прецизионным парам: 1) высокая герметичность зазоров пар во избежание утечек топлива; 2) стабильность малых по величине сил трения между сопряженными деталями.

Отказом прецизионных пар считается повышение силы трения, ведущее к временному зависанию или заклиниванию деталей. Внезапные отказы связаны с повышением силы трения в паре в результате процессов схватывания; отказы постепенные возникают в результате изнашивания, когда в зазорах накапливаются продукты износа, возникает тугой ход.

В узлах трения топливорегулирующей автоматики авиадвигателей относительное скольжение сопряженных деталей часто осуществляется возвратно-вращательным проскальзыванием, носящим вибрационный характер с малой величиной относительного перемещения.

Анализ условий работы прецизионных пар топливорегулирующей автоматики, характер дефектов (коррозионные язвы, заполненные продуктами износа, участки микросхватывания) и их распределение дает основание заключить, что повреждение происходит в результате микросхватывания в условиях фреттинг-коррозии.

Изучение состава продуктов, образующихся в результате фреттинга, помогает объяснить и дополнить механизмы процессов, сопровождающих вибрационное проскальзывание в среде авиационного топлива (керосина). Исследовались продукты фреттинг-коррозии стали 40Х после испытаний в среде авиационного топлива ТС-1 на установке МФК-1. Продукты фреттинг-коррозии собирались вместе с рабочей средой, после чего тщательно отфильтровывались на фильтрах с пропускной способностью 0,5...0,6 мкм. После этого неорганические частицы износа отмывались от органических смолянистых веществ в смеси бензола и изопропиленового спирта и высушивались. Состав порошка определялся электронографически на приборе ПРЭМ.

На рис. 1 приведены примеры электронограмм. Установлено, что исследованные препараты состоят из окислов Fe_3O_4 ($\gamma-Fe_2O_3$), гидроксидов $Fe(OH)_2$ и сульфидов типа Fe_3S_4 . Указанный состав продуктов фреттинг-коррозии стали в среде керосина отражает специфические особенности контактных явлений в этой среде.

Сложилось общепринятое мнение [1-3], что независимо от того, какие процессы развиваются на ранних стадиях фреттинга, продукты длительного фреттинга железа и стали в воздухе состоят в основном из частиц гематита ($\alpha-Fe_2O_3$). Этот окисел является высокотемпературной модификацией конечного окисления железа и, как правило, не образуется при обычном окислении или ржавлении металла в воздухе, а также при однонаправленном скольжении. Кроме окисла $\alpha-Fe_2O_3$ в продуктах фреттинг-коррозии стали в воздухе обнаруживаются (особенно на ранней стадии) чистое железо, Fe_3O_4 (магнетит), FeO , $\gamma-Fe_2O_3$ [1]. Многое зависит от состава стали, состава окружающей среды и условий опыта.

Окислы, обычно возникающие при окислении железа и стали при комнатной температуре, состоят или из $\gamma-Fe_2O_3$, или из окисла, состав которого находится между $\gamma-Fe_2O_3$ и смесью 20% Fe_3O_4 + 80% $\gamma-Fe_2O_3$ [4]. Достаточно быстро фаза $\alpha-Fe_2O_3$ появляется при температуре около 473 К, когда и окисел $\gamma-Fe_2O_3$ начинает переходить в Fe_3O_4 . При температуре 573...623 К пленка состоит из Fe_3O_4 и $\alpha-Fe_2O_3$.

Механическая активация контактирующих поверхностей при фреттинге может снижать температуру указанных превращений, тем не менее остается оправданным предположение о возможности локального повышения температуры в зоне контакта [3]. С другой стороны, высказываются

сомнения в том, что возникновение гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) связано только с тепловым активированием, и приводятся соображения в пользу протекания механо-химических процессов [5].

Таким образом, первая особенность фреттинга в среде керосина состоит в отсутствии в продуктах разрушения гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Этот факт может указывать на два обстоятельства. Во-первых, фреттинг стали в среде углеводородов сопряжен с ограниченным подводом в зону контакта кислорода, что замедляет процессы окисления; это и проявляется в образовании модификации окисла железа с меньшим содержанием кислорода (Fe_3O_4). На этой фазе, вероятно, происходит завершение процесса окисления частиц металла, отделяющихся в результате адгезионных и усталостных явлений. Во-вторых, следует учитывать, что решетка магнетита (Fe_3O_4) почти идентична решетке $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, вследствие чего электронографически их трудно идентифицировать раздельно. Поэтому, если в нашем случае фиксируется окисел $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, это может указывать на то, что исследованный препарат является металлическими частицами, окислившимися вероятнее всего после выхода из зоны трения или в процессе препарирования. В обоих случаях приходим к выводу о том, что механический фактор при фреттинге в углеводородных средах (адгезионные процессы) является ведущим, а коррозионный – сопутствующим.

На протекание коррозионных процессов при фреттинге в авиатопливе указывают обнаруживаемые в продуктах фреттинга гидроксиды $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и сульфиды Fe_3S_4 . Это вторая особенность фреттинга в среде керосина.

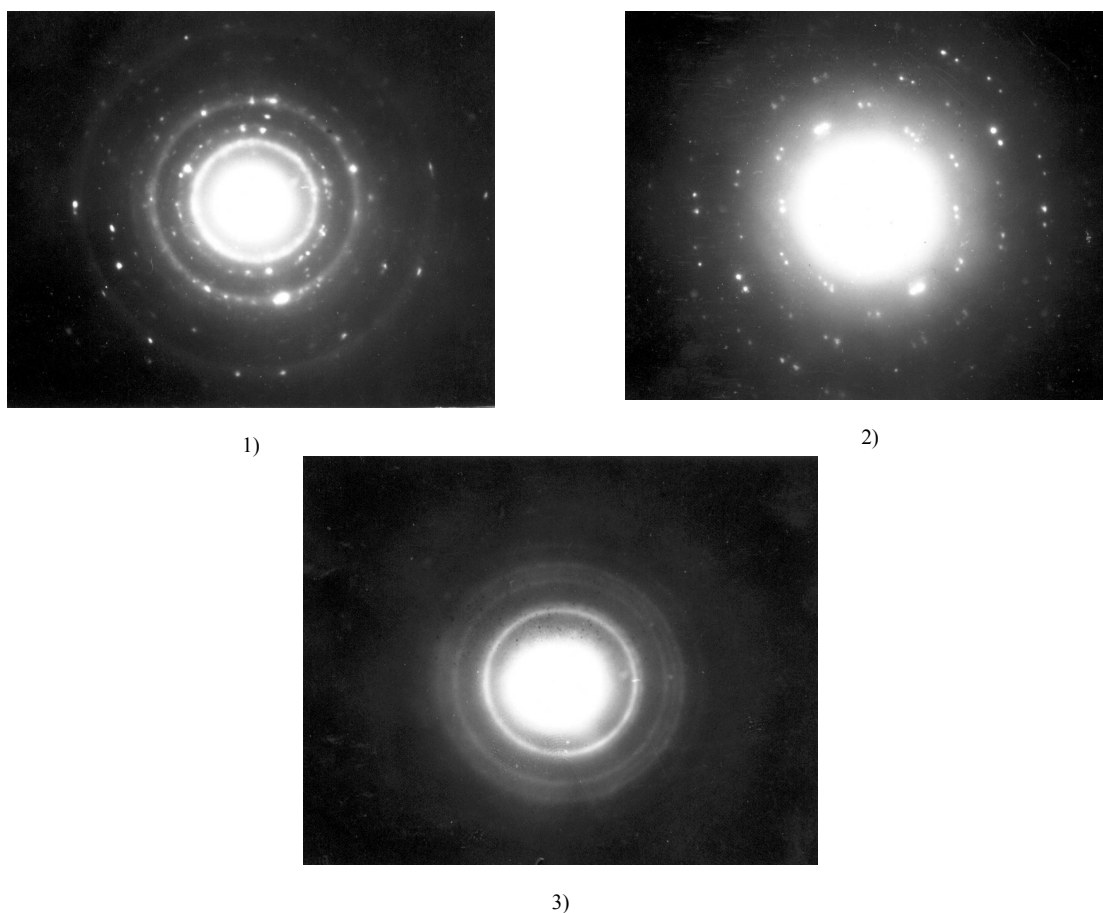


Рис. 1 - Электронограммы продуктов фреттинг-коррозии стали 40X в среде керосина:
1 - $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{Fe}_3\text{O}_4)$; 2 - $\text{Fe}(\text{OH})_2$; 3 - Fe_3S_4

Авиационные топлива относят к неэлектролитам, т.е. к жидкостям, не проводящим электрический ток. Считают, что преобладающим механизмом коррозии металлов в неэлектролитах является химический, т.е. окисление металла и восстановление окислительного компонента среды протекают в одном акте. Входящие в состав топлива углеводороды в чистом виде и при отсутствии воды не активны по отношению к металлам. Коррозионно-активным топливо делают сернистые соединения

(меркаптаны, сероводород), которые, вступая во взаимодействие с металлом, образуют сульфиды, меркаптиды и др. Более того, в работе [6] была показана возможность функционирования в неэлектролитах (диэлектриках с удельной проводимостью $10^{-11} \dots 10^{-14} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) коррозионных гальванических элементов, т.е. электрохимической коррозии. Интенсивная работа микрогальваноэле-

ментов на поверхности металлов способствует появлению тока, генерируемого этими элементами, и направленному движению ионов не через раствор, а через образующиеся солевые «мостики», способствующие электрохимической коррозии. «Мостики» образуются при химическом превращении составляющих раствора в результате каталитического воздействия материала электрода.

Попадание в неэлектролиты воды значительно активирует действие примесей и вызывает, особенно в присутствии солей, интенсивное протекание электрохимической коррозии [7]. Вода в авиатопливах содержится в гигроскопичном, эмульсионном и суспензионном состоянии. В зависимости от условий эксплуатации возможны фазовые переходы из одного состояния в другое.

В топливе ТС-1 при температуре 298 К может растворяться до 150 г воды в тонне. С повышением температуры углеводородной смеси растворимость воды резко возрастает. Таким образом, коррозию металлов и сплавов в увлажненных топливах следует рассматривать как особый вид электрохимической коррозии, при которой электролитом, необходимым для протекания процесса, является вода, конденсирующаяся из топлива и воздуха, и содержащая растворенные продукты окисления топлива.

Продукты электрохимических реакций могут явиться дополнительной причиной возникновения заедания прецизионных пар топливорегулирующей аппаратуры, что приводит к «холодному зависанию» оборотов двигателя в работе или вызывает его помпаж. В некоторых случаях засорение зазора прецизионных пар может вызвать кратковременную остановку двигателя.

При трении процессы электрохимической коррозии дополнительно усиливаются [1]. Обнажение ювенильных поверхностей в зоне контакта при трении, схватывании, разрыве металлических связей способствует увеличению химической и каталитической активности металла, что дополнительно усиливает процесс электрохимической коррозии.

При трении в зоне контакта возможно протекание электрохимических реакций даже в диэлектриках с константой диссоциации 10^{-14} из-за малого расстояния между электродами на поверхности трения и механо-химического эффекта [8]. В зазоре между поверхностями трения генерируется электрическое поле (двойной электрический слой), обусловленное в основном гальваническими процессами и термоэлектризацией в локальных микропарах. При работе этих гальванопар происходит анодное растворение металла, в тончайшем поверхностном слое образуются активные области, которые вновь входят в контакт с контртелом. Напряженность образующегося при этом двойного электрического слоя в тонких слоях смазки достигает высоких значений (10^4 В/м и выше) при высокой плотности тока через площадь фактического контакта [9]. При относительном перемещении двух тел, находящихся в тесном контакте, возникающая электризация дополнительно увеличивает напряженность поля [10].

Ориентированная адсорбция заряженных органических молекул на поверхности также способствует созданию двойного электрического слоя. Наибольшее усиление электризации происходит в топливах, содержащих мелкодисперсные примеси (например, продукты фреттинг-коррозии), мелкие капельки воды, которые становятся заряженными благодаря адсорбции продуктов разрушения [11]. Примеси заряженных коллоидных частиц также могут являться причиной электропроводности диэлектрика в зоне трения. Такие частицы могут быть образованы при термо- и механодеструкции топлива [12].

Вариант процесса электрохимической коррозии в авиатопливе можно представить в следующем виде: ионизация металла $\text{Me} \rightarrow \text{M}^+$, гидрирование иона при взаимодействии с водой $\text{Me}^+ + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{M}^+ \cdot n\text{H}_2\text{O}$, взаимодействие иона с гидроксил-ионом воды $\text{Me}^+ \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- \rightarrow n\text{H}_2\text{O} + \text{MeOH} \downarrow$. Наличие гидроокислов в продуктах фреттинг-коррозии указывает на возможность действия такого механизма.

Электрохимической коррозии всегда сопутствуют процессы химической коррозии, катализатором которой являются первые продукты окисления топлива при термодеструкции. Прежде всего идет реакция металла с перекисью или с молекулярным водородом, затем образовавшийся оксид растворяется в органических кислотах с образованием солей [8]. Эти процессы механически активизируются и наиболее интенсивно протекают на тех участках, которые подвергаются деформации. Электропроводный органический раствор соли в смеси с продуктами трения дополнительно создают в зоне контакта условие для протекания электрохимических реакций.

Значительная коррозия металлов в нейтральных средах происходит только при наличии растворенного кислорода. Кислород, растворенный в водяной пленке, имеет двойственное влияние на процессы коррозии: с одной стороны, кислород как деполяризатор увеличивает скорость катодного процесса, а с другой – увеличивает стабильность защитных пленок, чем тормозит коррозионный процесс.

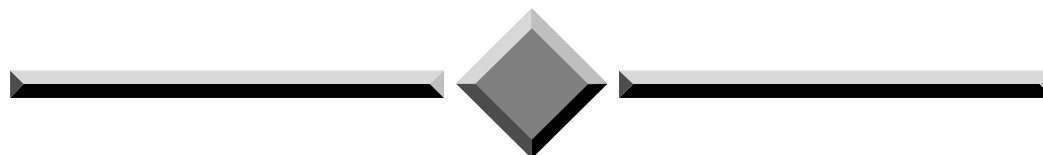
Таким образом, установлено, что продукты фреттинга в среде авиационного топлива состоят из низших окислов, гидроокислов и сульфидов. Фреттинг в указанной среде сопряжен с ограниченным подводом в зону контакта кислорода, что существенно замедляет процессы коррозии. Вследствие этого

механический фактор (адгезионный) в этих условиях является ведущим, а коррозионный – сопутствующим.

Литература

- 1 Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – К.: Техніка, 1974. – 270 с.
- 2 Жеглов О.С. Окисление контактной поверхности металлов при реверсивном трении // ФХММ. – 1980. - № 4. – С. 57-63.
- 3 Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия. – Л.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
- 4 Окисление металлов / Под ред. Ж. Бенара. – М.: Металлургия. – 1969. – Т. II. – 448 с.
- 5 Филимонов Г.Н., Балацкий Л.Т. Фреттинг в соединениях судовых деталей. – Л.: Судостроение, 1973. – 296 с.
- 6 Гиндин Л.Г. Об электрохимическом характере коррозии металлов в жидких диэлектриках // ДАН СССР. – 1950. – Т. 73, № 3. – С. 515-518.
- 7 Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
- 8 Поляков А.А., Гаркунов Д.Н., Симаков Ю.С. и др. Защита от водородного износа в узлах трения. – М.: Машиностроение, 1980. – 135 с.
- 9 Литвинов В.Н., Михин Н.М., Мышкин Н.К. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. – М.: Наука, 1979. – 187 с.
- 10 Староба Й., Шиморда Й. Статическое электричество в промышленности. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 248 с.
- 11 Аксенов А.Ф., Шепель А.Я., Кадомский С.В. Влияние внешних факторов на закономерности износа материалов на основе меди, работающих в углеводородных средах // Трение и износ. – 1984. – Т. V, № 1. – С. 10-15.
- 12 Майофис И.М. Химия диэлектриков. – М.: Высшая школа, 1970. – 332 с.

Надійшла 21.12.2001



ЧИТАЙТЕ
журнал
“**Problems of Tribology**”
во всемирной сети
INTERNET !

<http://www.tup.km.ua>

ИЛИ

<http://www.r-style.kiev.ua/tribology/journal.htm>

