

УДК 629.1

ОБ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПО ЗНАЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Абдряшитов А.Д., магистрант, тел. 89278243677,
damirvasa14@gmail.com

Салахутдинов И.Р., кандидат технических наук, доцент,
тел. 8(8422) 55-95-13, ilmas.73@mail.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Глушенко А.А., кандидат технических наук, доцент,
тел. 89374564933, oildel@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Ключевые слова: электродвижущая сила, слой смазочного масла, площадь контакта, контактное сопротивление, пара трения, электролит

Настоящая работа посвящена обоснованию возможности оценки технического состояния двигателя по величине электродвижущей силы (ЭДС), возникающей в его трибосопряжениях. Теоретически установлено влияние площади контакта трущихся пар на электрическое сопротивление в зоне взаимодействия и, как следствие, на величину генерируемой ЭДС. Показано, что измерение ЭДС позволяет получить информацию о техническом состоянии как отдельных пар трения, так и двигателя в целом.

Введение. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) представляет собой сложную техническую систему, функционирование которой сопровождается относительным перемещением различных сопряжённых рабочих поверхностей. Разделяющей средой для трущихся поверхностей служит слой смазочного масла. Вследствие присутствия в смазочном материале высокоактивных химических присадок, а также растворённой влаги, масло приобретает собственную электрохимическую активность и, таким образом, выступает в роли

электролита [1]. Указанное обстоятельство обуславливает развитие коррозионно-механического изнашивания деталей в узлах трения [2,3]:

- *Причина*: взаимодействие трущихся поверхностей деталей в среде моторного масла.

- *Фактор электролита*: моторное масло с высокоактивными химическими присадками и растворенной влагой приобретает свойства электролита.

- *Процесс*: происходит электрохимическое воздействие на металл, которое совмещается с механическим износом (трением).

Итог: Ускоренное разрушение рабочих поверхностей деталей двигателя. Этот процесс особенно характерен для пар трения, работающих в условиях высоких температур и давлений, где химическая активность масла (включая продукты окисления и сернистые соединения) наиболее высока.

Таким образом, изменение геометрии поверхности, обусловленное процессами изнашивания, через соответствующее изменение параметров фактического контакта (площади касания, числа и распределения микронеровностей) приводит к трансформации электрической картины в зоне трения. Это проявляется в изменении величины электродвижущей силы, генерируемой в трибосопряжении. Следовательно, ЭДС выступает в качестве высокоинформативного диагностического параметра, позволяющего осуществлять объективное техническое диагностирование состояния узлов трения без их разборки и остановки оборудования [4].

Материалы и методы исследований. Поверхность контакта, как и любое твёрдое тело, всегда характеризуется наличием шероховатости. В данном случае геометрическую составляющую поверхности можно рассматривать как рельеф, содержащий совокупность выступов. Присутствие указанных выступов приводит к тому, что фактическое контактирование поверхностей осуществляется лишь по этим микронеровностям. Под действием нагрузок, возникающих в процессе работы ДВС, происходит сближение поверхностей, которое продолжается до тех пор, пока суммарная реакция упругого деформирования выступов не уравнивает приложенную силу воздействия.

$$N = \sum_{i=1}^{n_i} N_i, \quad (1)$$

где n_i - количество контактирующих выступов, ед.; N_i - реакция выступа поверхности на деформацию, МПа.

В этом случае величина эффективной (фактической) контактной поверхности пары трения определяется как суммарная площадь участков взаимодействия микронеровностей сопряжённых тел [5,6]:

$$S = \left(\frac{2,2\Pi_r^{2/3}}{E \cdot h_m^{1/3}} \right) \cdot N^{6/7} \cdot n_o^{1/7}, \quad (2)$$

где Π_r - количество выступов, ед.; E - модуль Юнга, Па; h_m - максимальная высота выступов, мм; n_o - общее количество выступов на реальной поверхности, ед.

При прохождении электрического тока через контактирующие поверхности в условиях возвратно-поступательного (движение поршня) или вращательного (кривошипно-шатунный механизм) движения линия тока претерпевает значительное искривление, формируя так называемые области «стягивания». С учётом данного обстоятельства сопротивление одной из поверхностей трущейся пары может быть выражено следующим образом:

$$R = \rho \cdot l \cdot \frac{1}{A}, \quad (3)$$

где ρ - удельное сопротивление материала, Ом·мм; l - изменение длины контакта пары трения, мм; A - работа сил по выделению электрона.

Таким образом, в приконтактной области возникает дополнительное сопротивление, именуемое сопротивлением «стягивания», которое и обуславливает переходное сопротивление контакта трущихся поверхностей.

$$R = \frac{0,45 \cdot \rho \cdot E^{5/7} \cdot h^{4/7}}{r^{1/7} \cdot N^{5/7} \cdot n_o^{1/4}}. \quad (4)$$

где r - средний радиус выступа неровности контактной поверхности, мм.

Учитывая зависимость электродвижущей силы (ЭДС) от сопротивления в зоне контакта, последнюю можно выразить следующим образом [5,6]:

$$\varepsilon = \frac{I \cdot r^{1/7} \cdot N^{5/7} n_o^{1/4}}{0,45 \cdot \rho \cdot E^{5/7} \cdot h^{4/7}}. \quad (5)$$

Таким образом, величина электродвижущей силы (ЭДС), генерируемой в зоне фрикционного контакта, может служить информативным диагностическим параметром, позволяющим оценить техническое состояние любого сопряжения двигателя внутреннего сгорания. Следовательно, по измеренному значению ЭДС представляется возможным судить об изменении геометрических, физико-химических и эксплуатационных характеристик трибосопряжений в процессе работы двигателя.

Заключение. На основании полученных в работе аналитических зависимостей можно сделать вывод о том, что измерение величины электродвижущей силы (ЭДС), возникающей в зоне фрикционного контакта, позволяет провести объективную оценку состояния узла трения. Иными словами, значение ЭДС выступает в качестве диагностического параметра, по которому может быть определено техническое состояние сопряжённых пар трения двигателя внутреннего сгорания.

Библиографический список:

1. Результаты исследования противоизносных свойств товарных моторных масел / Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Н. И. Селиванов [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1(21). – С. 204-209. – EDN VVQHOP.
2. О вариациях механических характеристик металлов при действии электрического потенциала / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов, Р. А. Филиппев, Н. В. Котова // Металлы. – 2010. – № 4. – С. 39-45. – EDN NAVQYZ.
3. Влияние слабых электрических потенциалов на микротвердость металлов и сплавов / С. В. Коновалов, Р. А. Филиппев, О. А. Столбоушкина [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – 2008. – № 22. – С. 201-208. – EDN RLWNHT.

4. О влиянии контактной разности потенциалов и электрического потенциала на микротвердость металлов / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов, С. В. Коновалов [и др.] // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51, № 6. – С. 1077-1080. – EDN RCRORR.

5. Салахутдинов, И. Р. К вопросу возникновения разности потенциалов в сопряжении «гильза цилиндров-поршневое кольцо» двигателя внутреннего сгорания / И. Р. Салахутдинов, А. А. Глущенко, А. Л. Хохлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3(63). – С. 230-235. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-3-230-235. – EDN PIYLYS.

6. Салахутдинов, И. Р. Теоретическое обоснование снижения износа уменьшением величины ЭДС в паре трения «поршневое кольцо - гильза цилиндров» / И. Р. Салахутдинов, А. А. Глущенко, А. Л. Хохлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2(66). – С. 191-196. – DOI 10.18286/1816-4501-2024-2-191-196. – EDN VPSZWY.

ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF AN ENGINE BY THE VALUE OF THE ELECTROMOTIVE FORCE GENERATED IN FRICTION UNITS

Abdryashitov A.D., Salakhutdinov I.R.
FSBEI HE Ulyanovsk SAU
Glushchenko A.V.
FSBEI HE Ulyanovsk SU

Keywords: *electromotive force, lubricating oil layer, contact area, contact resistance, friction pair, electrolyte*

This paper explores the feasibility of assessing the technical condition of an engine based on the magnitude of the electromotive force (EMF) generated in its frictional interfaces. The influence of the contact area of friction pairs on the electrical resistance in the interface zone and, consequently, on the magnitude of the generated EMF has been theoretically established. It is demonstrated that measuring EMF provides information on the technical condition of both individual friction pairs and the engine as a whole.