

УДК 678.01:531.43

О.Н. БИЛЯКОВИЧ^{1,2}, Е.В. БОГАЙСКАЯ², О.А. ГУМЕНЮК²¹Национальный транспортный университет, Киев, Украина²Национальный авиационный университет, Киев, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВЛИЯНИИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАСЕЛ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

Приведен аналитический обзор научных трудов, отображающий современные исследования процессов образования смазочных слоев и их связь с состоянием поверхностей трения. Отмечено, что в условиях локального контакта при качении со скольжением смазочное действие, прежде всего, определяется наличием гидродинамических и граничных слоев, их толщиной и структурой. Для масел, подверженных процессам старения и загрязнения, смазочная способность связана с взаимодействием молекул продуктов окисления масел между собой, их взаимодействием с поверхностью трения, поверхностями частиц механических примесей и продуктов износа. В качестве основных параметров, определяющих эффективность смазочного действия при граничном трении, принято использовать значение граничных смазочных слоев, коэффициент трения и объемную температуру масла.

Ключевые слова: граничный смазочный слой, трение, масло, поверхность, смазочное действие, износ.

Введение

Как известно, смазочная способность масел в условиях граничного режима смазки основывается на эффектах адсорбции и химической реакции с трущимися поверхностями с образованием пленок оксидов и пленок, сформированных активными компонентами смазочной среды [1, 2]. По свидетельству авторов работ [3, 4], самое существенное значение в выяснении общей картины смазочного действия технических масел имеет оценка содержания в них поверхностно-активных веществ (ПАВ), совместного действия ПАВ и химически-активных веществ (ХАВ) и определение их оптимальных соотношений. Причем, одним из решающих факторов, является сила сцепления между молекулами смазочной среды и поверхностными атомами металла [5], авторы работ [6, 7] указывают на существенные различия в параметрах смазочного действия одного и того же масла при трении различных металлов по причине различных значений энергии связи.

Ряд авторов [1, 8, 9] отмечают положительный смазочный эффект от растворимости кислорода в смазке, ее окисляемости и взаимодействия оксидных и адсорбционных пленок и предполагают усиление данного эффекта от сформировавшихся адсорбционных слоев при наличии подслоя оксидов определенного состава.

Основная часть

Буяновский И.А. с коллегами в [10] указывает на высокий уровень ориентации ГСС относительно поверхностей трения как на один из важнейших факторов эффективного смазочного действия масел в трибосопряжениях.

Как известно, повышение этого уровня в настоящее время достигается путём введения в смазочную среду присадок, обладающих повышенной физико-химической активностью.

Упорядоченность адсорбированных молекул в граничных слоях может также зависеть от взаимодействия их со смазываемой поверхностью на границе раздела смазочная среда – твердое тело, поскольку здесь имеет место эффект воспроизведения ориентации поверхностного слоя твердого тела смазочным слоем. Это следует из модели граничного слоя по А.С.Ахматову [11].

На основании этого предположения методом молекулярной динамики авторами работы [12] была построена компьютерная модель, в соответствии с которой молекулы инактивной среды на поверхности, не обладающей ориентирующими свойствами, расположены беспорядочно, в то время как на поверхности – ориентанте (т.е. на поверхности, обладающей высокой степенью ориентации) образуются высокоупорядоченные граничные слои, которые характеризуются высокой смазочной способностью.

В условиях локального контакта при качении со скольжением, по свидетельству автора работы [13], смазочное действие определяется, прежде всего, наличием гидродинамических и граничных слоев, толщиной и структурой последних.

Основной целью эксплуатационных исследований можно считать выяснение механизма смазочного действия в различных условиях. Процесс образования смазочных слоев и его связь с состоянием поверхностей трения представляет интерес именно для выяснения механизма смазочного действия масел, а также самого механизма трения [14].

В обобщенном варианте механизм смазочного действия при граничном режиме смазки сводится к следующим процессам: адсорбция и химическое взаимодействие активных компонентов масел с контактными поверхностями трибосопряжений, вследствие чего на последних происходит формирование полифазного ГСС; упругая деформация ГСС под действием нормальной нагрузки; возможная упругая и пластическая деформация выступов трущихся тел и их взаимное внедрение, не сопровождающееся разрушением адсорбционного мономолекулярного слоя; возможное нарушение сплошности ГСС на отдельных наиболее нагруженных площадках контакта, а также при локальном их нагреве; возникновение адгезионного взаимодействия между оксидными пленками сопряженных металлических поверхностей; возможный контакт ювенильных поверхностей при взаимодействии максимально нагруженных неровностей; взаимодействие слабонагруженных неровностей через полимолекулярный ГСС [15, 16 и др.].

В дополнение к вышесказанному, механизм смазочного действия масел, подверженных процессам старения и загрязнения, объясняется взаимодействием молекул продуктов окисления масел между собой, их взаимодействием с поверхностью трения и с поверхностью частиц механических примесей и продуктов износа [17].

Установлено [13, 18], что одной из основных причин потери работоспособности трибоузлов в условиях неустановившихся режимов работы (приработка, пуск-остановка, изменение температуры, реверсирование) является временное ухудшение смазочного действия, которое выражается в уменьшении толщины смазочного слоя, что связано со сменой протекающих граничных процессов – замещением адсорбционных слоев физического происхождения на более стабильные для данных условий трения хемосорбционные слои.

Когда режим граничного трения в зубчатых зацеплениях агрегатов трансмиссий машин характеризуется тяжелыми условиями работы по нагрузке и температуре, то адсорбционные слои уже не в состоянии обеспечивать эффективное смазочное действие. В этих условиях целесообразно использовать эффект образования на поверхностях трения самогенерирующихся органических пленок – СОП (в зарубежной литературе они чаще представлены под названием полимеров трения), формирование которых является определяющим фактором, характеризующим смазочную способность масел в условиях трения качения со скольжением [18, 19].

Формирование СОП происходит не только в маслах в состоянии поставки – на ранних стадиях их использования, но и при прохождении процессов старения и загрязнения смазочных материалов механическими примесями, причем их образование во втором случае происходит более интенсивно, так как

известно, что продукты старения масел являются материалом, который активно формирует СОП [15, 17].

Возможность образования СОП на поверхностях трения, которые моделируют работу агрегатов трансмиссий, подтверждает тенденцию продуктов окисления масла генерироваться у структуры, которые обеспечивают минимум изнашивания. После исследований, проведенных в среде отработанного масла [20], на контактных поверхностях образцов имела место прозрачная органическая пленка, отвечающая результатам исследований ряда зарубежных ученых, которые наблюдали образование прозрачных трибополимерных пленок [21].

Граничные смазочные пленки любого происхождения и структуры обладают способностью к самогенерации, подтверждает автор работы [22], если сохраняются условия и компоненты для их восстановления – если в процессе использования смазочных сред происходит выработка легирующих элементов, то в результате старения масел при эксплуатации узлов и агрегатов машин создаются условия для образования в них соединений, являющихся материалом для построения граничных слоев.

В качестве основных параметров, определяющих эффективность смазочного действия при граничном трении, как правило, принято использовать значения толщины ГСС, коэффициента трения и объемной температуры масла, самым же информативным из вышеуказанных параметров, по мнению авторов многих работ [23], является значение толщины ГСС.

Проведенные измерения толщины ГСС показали, что преимущественно зубчатые колеса агрегатов трансмиссий машин работают в условиях смешанного режима смазки с преобладанием граничного [24, 25].

По свидетельству Ю.А. Розенберга [8] толщина мальтимолекулярного ГСС зависит от свободной энергии твердой поверхности, следовательно, от ее природы и от характера покрывающей ее пленки оксидов, экранирующей силовое поле поверхности.

Как указывает Г.И. Фукс в работе [25], толщина ГСС – функция контактного давления и состава смазочной среды, в первую очередь – состава и строения молекул ПАВ и их молекулярного веса.

Известно, что значение толщины смазочной пленки при граничном режиме трения определяется в меньшей степени вязкостью масла, а в большей – физико-химическими свойствами смазочной среды, динамикой их изменения, комплексом факторов, отражающих такие особенности взаимодействия рабочих поверхностей зубчатых колес, как их исходное состояние, приработка, скоростные, тепловые и нагрузочные режимы эксплуатации, характер изменения этих параметров во времени [26].

Очевидно, что толщина ГСС в зубчатом зацеплении оказывает существенное влияние на его долговечность, для обеспечения оптимальной толщины

смазочной пленки в вышеуказанных трибосоединениях смазочный материал должен подбираться в соответствии с условиями эксплуатации [27].

В работах ряда авторов [13, 28] имеются свидетельства о плавном росте толщины ГСС в условиях трения качения со скольжением в связи с выглаживанием (приработкой) трущихся поверхностей, после чего наступает стабилизация значений толщины ГСС в течение многих часов. В установившихся условиях работы трибосопрежения сформировавшиеся в процессе приработки ГСС сохраняют стабильную толщину. При работе в неустановившемся режиме всегда наблюдается более или менее интенсивное временное снижение толщины ГСС [13]. Что касается анализа показателей смазочного действия масел с различным остаточным ресурсом и степенью загрязнения, следует отметить крайнюю ограниченность литературных сведений, касающихся этих вопросов.

В этой связи уместно вспомнить работу [17], автором которой исследовались параметры смазочного действия трансмиссионных масел различного качества при моделировании на машине трения реальных условий эксплуатации зубчатых зацеплений агрегатов трансмиссий авиационной наземной техники.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что качественное состояние масла существенно влияет на толщину смазочного слоя, а, следовательно, и на эффективность смазочного действия. Значительное влияние на показатели смазочного действия, как выяснилось, также оказывает метод очистки смазочных сред. Подтверждая выводы ряда ученых о том, что толщина ГСС у масел, бывших в эксплуатации выше, чем у свежих [29], автором получены значения $h_{уст.}$ для масла, отработавшего ресурс вдвое превышают значения $h_{уст.}$ для масла в состоянии поставки.

Как указывает С.В. Венцель в [30], большая толщина ГСС в долгорботающем масле подтверждает, что их строительным материалом являются полярно-активные молекулы из продуктов окисления и полимеризации, количество которых в масле в процессе работы узлов и агрегатов машин возрастает.

Выводы

Эффективность смазочного действия масел существенно зависит от качественного состояния последних, и, как показал приведенный обзор, далеко не всегда смазочные среды, подверженные процессам старения и загрязнения при их длительном использовании, нуждаются в немедленной замене. Безусловно, это не подтверждает целесообразность бессменного применения масел в различных машинах и механизмах, но позволяет допустить возможность пересмотра рекомендованных ресурсов использования смазочных материалов, исходя из анализа результатов триботехнических испытаний и режимов эксплуатации конкретных узлов и агрегатов машин.

Литература

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
2. Структурно-термодинамические подходы в механизмах граничного смазывания / А.В. Дыха // Проблемы трибологии. – 2006. – № 3. – С. 62-65.
3. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов / Ю.С. Заславский. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
4. Watkins R.S. Use of the Timken test as a cam and followers screener for oils / R.S. Watkins // SAE Technical paper series. – 1984. – №840264. – P. 1-6.
5. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения / А.С. Ахматов. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1963. – 472 с.
6. Литвинов А.А. Физико-химические основы применения смазочных материалов в узлах трения авиационной техники: учебное пособие / А.А. Литвинов. – К.: КИИГА, 1985. – 80 с.
7. Влияние смазочных материалов на работоспособность зубчатых передач Einfluss von Schmierstoffen und Betriebsbedingungen auf den verschleiss von Zahnradern // Erdol-Erdgas-Kohle. – 1997. – 113, № 3. – С.130-131. – Нем.; рез. Англ.
8. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин / Ю.А. Розенберг. – М.: Машиностроение, 1970. – 315 с.
9. Механохимические процессы при граничном трении / Б.И. Костецкий и др. – М.: Наука, 1972. – 170 с.
10. Ориентационная упорядоченность граничных слоев и смазочная способность масел / И.А. Буяновский, З.В. Игнатьева, В.А. Левченко, В.Н. Матвеев // Трение и износ. – 2008. – Т. 29, № 4. – С. 375-381.
11. Современная трибология. Итоги и перспективы / Отв. ред. К.В. Фролов, Э.Д. Браун, И.А. Буяновский, Н.А. Воронин и др. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 480 с.
12. The carbon films as a unique orienter for epitropic liquid crystals / V.A. Levchenko et al. // Proc. 10th European Conf. on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Silicon Carbides. – Prague, 1999 – P. 37-41.
13. Мельник В.Б. Смазочное действие масел с карбонофторидными присадками при качении со скольжением: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.Б. Мельник. – К.: КИИГА, 1992. – 16 с.
14. Хайнике Г. Трибохимия: пер. с англ. / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 584 с.
15. Райко М.В. Смазка зубчатых передач / М.В. Райко. – К.: Техника, 1970. – 196 с.
16. Богданович П.Н. Трение и износ в машинах: учеб. для вузов / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак. – Мн.: Выш. шк., 1999. – 374 с.
17. Билякович О.Н. Влияние загрязненности трансмиссионных масел на смазочное действие и состояние поверхностных слоев трибосопрежений: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / О.Н. Билякович. – К.: КМУГА, 1996. – 273 с.
18. Кудрин А.П. Влияние смазочного материала на формирование вторичных структур в условиях неустановившихся режимов трения / А.П. Кудрин, В.И. Маленко, В.Ф. Лабунец // Проблемы трибологии. – 2006. – № 1. – С. 158-163.

19. Хебды М. Справочник по триботехнике: в 3 т. Т.2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.

20. Білякович О.М. Механізми мастильної дії трансмісійних олив з різним ступенем забрудненості / О.М. Білякович // Вісник Національного транспортно-го університету. – 2009. – Вип. 18. – С. 193-198.

21. Johnston G. A new mechanism for gear and bearing anti-wear additive behaviour / G. Johnston, P. Cann, H. Spikes // Additives for lubricants and operational fluids. – 1986. – V. 1. – P. 3-16.

22. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – К.: Техника, 1977. – 208 с.

23. Сіренко Г.О. Зношування твердих тіл при наявності на їх поверхнях наноплівок мастильних матеріалів / Г.О. Сіренко, О.В. Кузишин // Фізика і хімія твердого тіла. – 2006. – 7, № 3. – С. 593-600.

24. Дыха А.В. Исследование внедрения движущегося сферического индентора в смазанную и сухую поверхность / А.В. Дыха, Б.С. Вольнский // Проблемы трибологии. – 2008. – № 2. – С. 89-93.

25. Фукс Г.И. Физикохимия смазочного действия и новые смазочные материалы / Г.И. Фукс. – М.:

ФХММ, 1967. – № 5.

26. Holweger W. New results about the behavior of lubricants in the contact with machinery elements / W. Holweger, P. Beckmann, R. Ott // Tribology and Lubrication Engineering: 14 International Colloquium Tribology, Ostfildern. – Jan. 13-15, 2004. – Vol. 3. Ostfildern: Techn. Akad. Esslingen, 2004. – P. 1673-1678.

27. Басинюк В.Л. Методические основы управления триботехническими параметрами взаимодействия зубьев тяжелоагрессивных зубчатых передач / В.Л. Басинюк // Трение и износ. – 2006. – Т. 27, № 5. – С. 520-526.

28. Установление критериев работоспособности легированных масел для смазки зубчатых передач: отчет о НИР / М.В. Райко и др. // КИИГА; N 787-X90. – К., 1990. – 70 с.

29. Влияние старения авиационных масел на их противоизносные свойства / С.В. Венцель, Е.А. Миронов, В.А. Бездеркин, Н.Г. Стадниченко // Проблемы трения и изнашивания: респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1985. – Вып. 27. – С. 72-76.

30. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.

Поступала в редакцию 16.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Тамаргазин, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ВПЛИВ ЯКІСНОГО СТАНУ ОЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ МАСТИЛЬНОЇ ДІЇ

О.М. Білякович, К.В. Богайська, О.А. Гуменюк

Наведений аналітичний огляд наукових праць, що відображають сучасні дослідження процесів утворення мастильних шарів і їх зв'язок зі станом поверхонь тертя. Відмічено, що в умовах локального контакту при коченні з проковзуванням мастильна дія, перш за все, визначається наявністю гідродинамічних та граничних шарів, їх товщиною та структурою. Для олив, що зазнали процесів старіння та забруднення, мастильна здатність пов'язана із взаємодією молекул продуктів окислення олив між собою, їх взаємодією з поверхнею тертя, поверхнями часток механічних домішок і продуктів зношування. В якості основних параметрів, що визначають ефективність мастильної дії при граничному терті, прийнято використовувати значення граничних мастильних шарів, коефіцієнт тертя і об'ємну температуру оливи.

Ключові слова: граничний мастильний шар, тертя, олива, поверхня, змащувальна дія, зношування.

MODERN CONCEPTS OF THE INFLUENCE OF THE QUALITY OF OIL ON THE LUBRICANT ACTION EFFICIENCY

O.N. Bilyakovich, E.V. Bogayskaya, O.A. Gumeniyk

An analytical review of scientific papers showing the current studies of the formation of lubricating layers and their connection with the state of friction surfaces. Noted that lubricating action in the local contact in rolling and sliding is primarily defined by the presence of hydrodynamic and boundary layers, their thickness and structure. For oils, subjected to aging and contamination, lubricity due to the interaction of molecules of the oxidation products of oils to each other, their interaction with the surface of the friction, surfaces of the particles of solids and wear products. As main parameters determining the effectiveness of the lubricant under the boundary friction, taken to use the value of boundary lubricating layers, the coefficient of friction and bulk oil temperature.

Key word: boundary greasing layer, friction, oil, surface, lubricant action, wear.

Білякович Олег Николаевич – канд. техн. наук, доц., доц. кафедри Национального авиационного университета, докторант Национального транспортного университета, Киев, Украина, e-mail: oleg65@voliacable.com.

Богайская Екатерина Владимировна – аспирантка Национального авиационного университета, Киев, Украина, e-mail: katemol-69@mail.ru.

Гуменюк Олег Анатолиевич – инженер, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, e-mail: goa.ttoa@mail.ru.