

*Е. Н. Лыиков, д-р техн. наук, проф.,
С. В. Воронин, канд. техн. наук, доц.*

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ МОЛЕКУЛ ПРИСАДКИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
kaf_spprm@ukr.net

Раскрываются физические основы интенсификации процесса адсорбции молекул поверхностно-активных веществ на поверхностях трения за счет предварительной обработки масел внешним электростатическим полем

Постановка проблемы и анализ исследований. Процесс адсорбции молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхности твердой фазы – это изменение её энергетического состояния, а значит приспособление к новым условиям. Здесь ключевыми вопросами, требующими изучения, являются: а) структура молекулы; б) период адаптации; в) влияние силового поля поверхности трения. Кроме этого наблюдается изменение условий существования трибосистемы во времени, поскольку в процессе трения происходит изменение режимов нагружения, температуры и т.д.

Опыт показывает [1], что при взаимодействии полярной молекулы с поверхностью трения имеет место явление ориентации молекулы в силовом поле поверхности, как общее свойство асимметричных молекул, входящих в состав смазочных масел. Такая ориентация обусловлена наличием у молекул присадки полярной группы, именно её наличие усиливает процесс адсорбции по сравнению с неполярными молекулами базового масла. Однако, как и всё окружающее нас с позиций микропроцессов имеет отличительные черты, так и молекулы присадок обладают ими. Например, каждая из них может иметь разную конфигурацию, дипольный момент, расположение относительно поверхности трения и т.д.

Особое внимание следует уделить влиянию характеристик молекул ПАВ и их структур на процесс адсорбции. Одиночные молекулы ПАВ обладают высокой свободной энергией, поэтому, находясь в объеме смазочного материала, стремятся к понижению

этой энергии. Это проявляется как в процессе адсорбции молекул на твердой фазе, так и в процессе агрегации молекул в объеме. Очевидно, что последний процесс противоречит эффективной адсорбции на поверхности трения [2; 3].

Цель работы – снижение энергетических издержек процесса трения, т.е. выбор такой структуры и состояния молекул присадки, а также способа их получения, которые отвечали бы энергосберегающему режиму работы технических систем.

Физические основы интенсификации процесса адсорбции ПАВ на поверхности трения. Процессы, происходящие с молекулами ПАВ с позиций приспособления их к различным условиям существования, сегодня далеко неполно изучены, и зачастую их трактуют с позиций поляризации и отдельных видов ориентации. При этом используют основную гипотезу В. Гарди [4], то есть связывают с латентным периодом, как основной характеристикой адаптации.

Убедительным в этом случае является тот факт, что неустойчивое положение молекул ПАВ к поверхностям трения возможно, если активная группа, несущая энергетический момент, расположена по отношению к ней «экзотропно», т.е. она не может подойти к поверхности трения полярным концом (рис. 1, *a*). При таком варианте происходит упругий удар молекулы углеводородным радикалом, и она снова возвращается в объём смазочной среды.

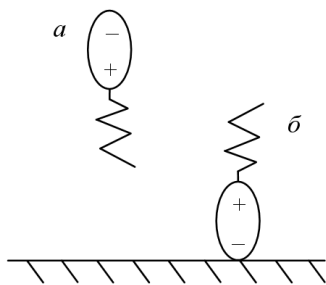


Рис. 1. Варианты взаимодействия молекулы ПАВ с поверхностью трения: *a* – упругий удар о поверхность; *б* – адсорбция на поверхности

Действительно, любая молекула смазочной среды совершает в объеме тепловое беспорядочное движение, кроме того на неё воздействует поля соседних молекул. Описанный выше процесс может повторяться многократно, а адсорбция молекулы произойдет лишь на заключительном этапе её адаптации, когда, вследствие вероятностного процесса, она займет положение при котором её полярно-активная часть попадает в область действия силового поля поверхности трения. На основе таких представлений можно утверждать,

что латентный период для таких молекул будет длительным, т.е. процесс адсорбции присадки в трибосистеме замедлен, следовательно, возможен вариант повышенного расхода энергии в процессе трения (отсутствие либо слабое формирование первичного мономолекулярного слоя). Необходимо отметить, что в таком представлении адаптация молекул присадки на поверхности трения является условной, так как возможны разные схемы ориентации молекул.

Кроме описанного выше процесса целесообразно также рассмотреть и другой вариант адаптации молекул присадки в трибосистеме. Вследствие кинетических процессов молекулы присадки в объеме смазочной среды при определенной их концентрации находятся во взаимосвязанном состоянии (между собой взаимодействуют) и образуют различного рода агрегаты (рис. 2) [2].

Такие агрегаты при любом ориентационном состоянии к поверхности трения не могут быстро адаптироваться на ней. Это явление можно пояснить следующим представлением (рис. 3). Приближаясь к поверхности кристаллического зерна поверхности трения, агрегат не может адсорбироваться в таком виде, ибо для процесса адсорбции необходимо соблюдать некоторые условия. К ним относятся: а) область расположения агрегата должна быть такой, чтобы энергия силового поля поверхности трения, расходуемая на процесс адсорбции, превышала энергию связи молекул в агрегате; б) вначале должен произойти процесс разрушения агрегатов молекул присадки под действием силового поля поверхности, т.е. должны сформироваться «пакеты» (домены) молекул, выстроенных по направлению, перпендикулярном поверхности трения (по вектору напряженно-

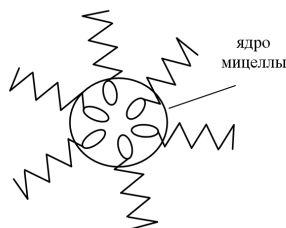


Рис. 2. Мицеллярная структура присадки в объеме смазочной среды (изотропное состояние жидкой смазочной среды)

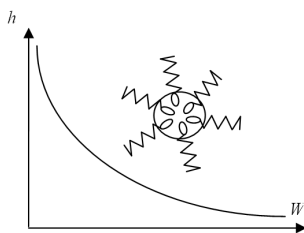


Рис. 3. Процесс адаптации молекул присадки на поверхности трения в случае связанной структуры присадки (кривая отображает силовое поле поверхности трения)

сти силового поля поверхности трения). Или же образуется мономолекулярная среда обитания молекул присадки вблизи поверхности, которые уже могут быть ориентированы к поверхности трения по схемам а или б, приведенным на рис. 1.

На основе такого представления о механизме адаптации молекул присадки, латентный период будет весьма длительным и пара трения практически всегда находится в том режиме, когда присадки не выполняют полностью своего функционального назначения, как следствие повышается скорость износа технических систем.

Для интенсификации адсорбции присадки необходимо вводить подготовительный этап, направленный на «оказание помощи» силовому полю поверхности трения. Такой этап реализуется путём использования обработки смазочной среды внешним электростатическим полем непосредственно перед подачей ее в трибосистему. В этом случае происходит преобразование молекулярных агрегатов ПАВ во внешнем поле, поскольку молекулы обладают электрическим дипольным моментом и стремятся повернуться по вектору внешнего поля, по аналогии с поведением молекулы ПАВ вблизи поверхности трения. С учетом локализаций плотности молекул присадки под действием внешнего поля в объеме масла образуются молекулярные «пакеты», состоящие из сонаправленных молекул, связанных между собой силами Ван-дер-Ваальса (рис. 4) [5]. Наличие таких «пакетов» в смазочном материале предсказывал ранее А.С. Ахматов [1].

После выхода из области действия внешнего поля, полученные «пакеты» присадки обладают двумя основными характеристиками: высокой поверхностной активностью и временем «жизни» в объеме смазочного материала. Первая характеристика зависит от количества молекул в «пакете», их дипольного момента и степени упорядоченности. Вторая – от температуры и сил связи между молекулами в «пакете».

Высокая поверхностная активность «пакетов» присадки приводит к следующим положительным явлениям:

- растет скорость адсорбции молекул присадки на поверхности трения;
- вследствие высокой степени упорядоченности молекул возрастают толщина и несущая способность граничного смазочного слоя, образованного на поверхностях трения «пакетами» присадки;

– интенсивность износа трибосистем и потери на трение в граничном режиме смазки снижаются.

Экспериментальные исследования. Для подтверждения описанной физики интенсификации процесса адсорбции проведена серия сравнительных экспериментальных исследований моторного масла М14Г2 с добавлением высокоактивной противоизносной и антифрикционной присадки – анамегатора на машине трения СМТ-1.

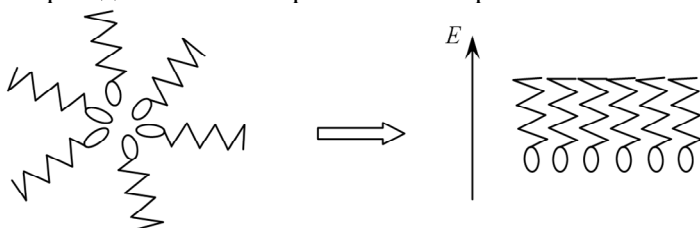


Рис. 4. Преобразование мицеллы в молекулярный «пакет» присадки под действием внешнего электростатического поля

В качестве испытуемых образцов были выбраны вращающийся стальной ролик и неподвижная бронзовая колодка. Масло подавалось на поверхность ролика под напором при помощи специальной насосной станции. Обработка масла внешним полем производилась в устройстве, встроенном в напорную магистраль станции. В исследованиях проводились измерения величины весового износа колодки за установленный промежуток времени, а также величины установившегося значения момента трения в испытуемой паре. Результаты исследований приведены на рис. 5.

Согласно результатам экспериментальных исследований, предварительная электростатическая обработка масел, легированных высокоактивной присадкой, приводит к существенному улучшению трибологических характеристик испытуемого узла трения. Так износ образца при обработке моторного масла, содержащего анамегатор, снизился от 4,8 до 6,7 раз в исследуемом диапазоне нагрузок (рис. 5, *а*). В свою очередь момент сил трения в том же диапазоне снизился на 25...40 %, по отношению к использованию масла без электростатической обработки (рис.5, *б*).

Полученные данные подтверждают основные положения приведенных физических основ интенсификации адсорбционных процессов на поверхностях трения за счет изменения условий

адаптации присадки после воздействия на смазочный материал внешним электростатическим полем.

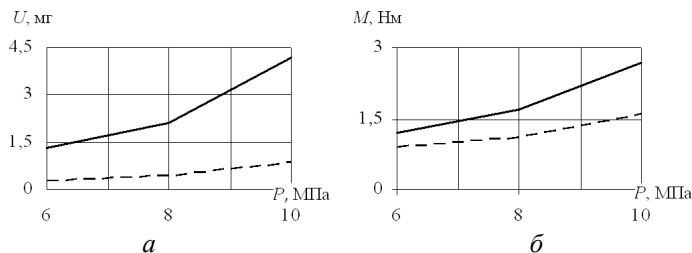


Рис. 5. Изменение весового износа колодки и момента сил трения в зависимости от внешней нагрузки: — — без обработки; - - - с обработкой

Выводы:

1. Молекулярное состояние присадки в маслах не способствует их адаптации в трибосистеме с точки зрения адсорбционных процессов на поверхностях трения, поскольку адсорбция мономеров затруднена вследствие кинетических процессов, а наличие агрегатов присадки в масле препятствует взаимодействию полярно-активной части молекулы с поверхностью.

2. Для интенсификации адсорбционного процесса необходимо вводить подготовительный этап, направленный на разрушение и преобразование молекулярных агрегатов непосредственно перед входом смазочного материала в трибосистему.

3. Наиболее эффективным подготовительным этапом является обработка масла внешним электростатическим полем, под действием которого осуществляется поворот молекул присадки по вектору поля, разрушение молекулярных агрегатов с последующим образованием «пакетов» присадки.

4. Молекулярные «пакеты» присадки обладают высокой поверхностной активностью, вследствие чего сокращается латентный период образования граничного смазочного слоя, а его толщина и несущая способность возрастают за счет роста степени упорядоченности молекул в слое.

5. Экспериментальными исследованиями на машине трения подтверждено положительное влияние электростатической обработки на трибологические характеристики узлов трения. Так при использовании в качестве смазочного материала масла на нефтяной основе с добавлением высокоактивной присадки применение элек-

тростатической обработки приводит к снижению износа образца до 6,7 раза и момента трения до 40 %.

6. Рассмотренный способ интенсификации адсорбционных процессов требует дальнейшего глубокого изучения, особенно это касается подбора наиболее эффективной присадки с точки зрения возможности формирования устойчивых во времени молекулярных «пакетов», установления рациональных режимов обработки масел и значений концентрации присадки, исследований влияния температуры и режимов нагружения на трибологические характеристики узлов трения.

Список литературы

1. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения / Ахматов А.С. – М.: Физматгиз, 1963. – 472 с.

2. *Лысиков Е.Н.* Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем / Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Воронин С.В.– Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

3. *Чичинадзе А.В.* Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003 – 576с.

4. *W.B. Hardy.* Collected Scientific Papers. – Cambridge, 1939 – p. 694.

5. *Пат. № 83946 UA, МПК⁷: C10N.* Спосіб обробки рідких мастильних матеріалів. / Є.М.Лисіков, С.В.Воронін; заявник та патентоутримувач Є.М.Лисіков, С.В.Воронін. – № а 2007 01155; заявл. 15.02.2007; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.

Лисіков Є.М., Воронін С.В. Інтенсифікація процесу адсорбції молекул присадки на поверхнях тертя технічних систем // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб.–К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С. 273–279.

Розкриваються фізичні основи інтенсифікації процесу адсорбції молекул поверхнево-активних речовин на поверхнях тертя за рахунок попередньої обробки мастил зовнішнім електростатичним полем.

Рис. 5, список літ.: 5 найм.

Lysikov E. N., Voronin S. V. The intensification of the adsorption process of additive molecules on the friction surfaces of technical systems

Reveal the physical basis of the intensification of processes of self adsorption of surfactants on the friction surfaces by pretreatment of oil external electrostatic field.

Ключевые слова: молекула присадки, поверхность трения, адсорбция, латентный период, электростатическое поле, износ

Стаття надійшла до редакції 13.03.2012