

УДК 621. 791

С. А.Сокол, ООО НВФ «Триботехнология»

10. DLC пленки на поверхностях трения.

Предприятие **ООО НВФ «Триботехнология»** ведет собственные разработки в области DLC пленок и металлоплакирующих присадок, которые опираются на открытие «Эффекта Гаркунова» («Эффекта безызносности»).

В 1992 года ООО НВФ «Триботехнология» разработало трибокомпозицию под торговой маркой «МКФ-18 НТ™» и применяет ее на всех объектах тяжелого машиностроения и автотранспорте.

В 1997 году предприятие **ООО НВФ «Триботехнология»** разработало поливалентную присадку к маслу, ее использование позволяет заместить применение импортных масел на отечественные масла.

В 2006 году предприятием **ООО НВФ «Триботехнология»** был синтезирован катализатор «**Evo®lution**», формирующий в узлах трения алмазоподобные углеродные пленки /Diamond- like carbon films-**DLC films** /.

В 2010 году предприятием **ООО НВФ «Триботехнология»** для введения катализатора «**Evo®lution**» в моторные масла была разработана технология «**гиперрезонансного механосинтеза**» - являющуюся совершенно новым направлением в области трибохимии. Основную роль в данном процессе играет гиперрезонансный нанодиспергатор.

Введение

Большинство потребителей недостаточно информированы о последних достижениях в области трибологии, такие как: современные смазочные материалы, специальные средства и триботехнологии. Следует отметить, что в определенной степени это является следствием недостаточной подготовленности и информированности инженерно-технических кадров и вообще потребителей в области трибологии — науке о трении, изнашивании и смазке машин и оборудования.

На сегодняшний день одним из наиболее интересных препаратов современной автохимии являются **трибосоставы**, предназначенные для снижения трения и скорости износа, а также частичного восстановления ДВС и трансмиссии.

Абсолютное большинство производителей смазочных масел настроены по отношению к **трибосоставам** чрезвычайно отрицательно. Основной тезис в этом противостоянии - это утверждение того, что современное масло уже содержит весь

необходимый пакет присадок, и введение в масло дополнительного компонента не только нежелательно, но и вредно, ибо тем самым нарушается баланс свойств из базового пакета функциональных присадок.

Однако все эти функциональные присадки к маслам определяют работу узла сопряжения в штатных условиях гидродинамического трения и никаким образом не учитывают реальное состояние поверхности цилиндров, поршневых колец, шеек валов и т.д. Они работают одинаково как для нового, так и для сильно изношенного двигателя, а ведь условия смазывания для различных стадий эксплуатации двигателя сильно отличаются. Эксплуатационный износ поверхностей трения вносит индивидуальные отличия в работу каждого узла трения двигателя.

Любой трибологический узел - это три компонента, две из которых – сопряженные поверхности трения, третья - пленка масла, разделяющая эти поверхности. Пакеты присадок в маслах определяют свойства только третьего компонента - масляной пленки, практически не влияя на свойства двух других.

Следовательно среднестатистических качеств масел оказывается недостаточно для полноценной защиты и экономичной эксплуатации. По этой причине в некоторых случаях в масло рекомендуют добавлять дополнительные присадки.

Впрочем, это не единственный путь. Необходимо менять не свойства масла, а свойства поверхностей трущихся пар.

Обработка трибологического узла **трибосоставом** меняет свойства рабочих поверхностей трибологического узла шероховатость, величины коэффициентов трения и износа, усилия задира, твердость, а также изменяет геометрию и регулирует зазоры в сопряжении.

Грамотная обработка двигателя **трибосоставом** способна существенно улучшить характеристики трибологического узла на любых режимах работы. Однако, как показали исследования, наибольший эффект достигается на тех режимах, где наиболее вероятно нарушение штатных режимов смазывания узлов трения - номинальных нагрузок, режимов с большими нагрузками и малыми частотами вращения (например на режимах холодного пуска двигателя). Поскольку на этих режимах гидродинамика сопряжения трения нарушается, то работа штатных пакетов масляных присадок малоэффективна, и состояние поверхностей становится определяющим для показателей мощности механических потерь и износа двигателя.

Таким образом, использование **трибосостава** может быть эффективным способом воздействия на характеристики транспортного средства, и в частности, его силового агрегата.

Однако ситуация далеко неоднозначна, поскольку в настоящее время на рынке препаратов автохимии появилось достаточно много различных препаратов рассматриваемого класса, отличных по механизмам действия.

Причем, неграмотное использование этих препаратов способно не только резко уменьшить эффект воздействия, но и привести к отрицательным последствиям, вплоть до «летального» исхода для узлов трения.

Важным является вопрос, на какой стадии эксплуатации следует проводить обработку двигателя **трибосоставом**. Почему-то абсолютное большинство владельцев доводят двигатель до «летального» исхода, а потом попытаются его реанимировать путем антифрикционной обработки. В ряде случаев можно частично восстановить размер детали, но ее форму, начальную поверхностную твердость, упругость поршневых колец, формы профиля боковой поверхности поршня воссоздать не удастся.

Поэтому наилучший эффект обработки может быть достигнут при средней степени до 50% износа двигателя. На практике двигатели, обработанные до обкатки, или в процессе обкатки имеют в 3 раза превосходящий ресурс и отсутствие поломок, в отличие от необработанного двигателя.

Трибокомпозиция МКФ-18НТ

На сегодняшний день единственный класс присадок, за спиной которых начиная с 1976 года присутствуют фундаментальные научные исследования. Данный класс опирается на открытие № 41 от 13 сентября 1966г. с приоритетом от 12 ноября 1956 г. названное «Эффект избирательного переноса при трении (Эффект безызносности)».

Авторами открытия являются профессор д.т.н. Д.Н. Гаркунов и профессор д.т.н. И.В. Крагельский. Формула открытия звучит в следующей редакции:

«Обнаружено, что при трении медных сплавов о сталь в условиях граничной смазки, исключаяющей окисления меди, происходит явление избирательного переноса меди из твердого раствора медного сплава на сталь и обратного её переноса со стали на медный сплав, сопровождающийся уменьшением коэффициента трения до жидкостного и приводящее к значительному снижению износа пары трения».

Избирательный процесс возникает в результате протекания на поверхности контактирующих тел химических и физических процессов, приводящих к образованию защитной пленки. Данное авторами открытия название **«сервовитная» (пленка)** происходит от латинского *servo wite* – спасти жизнь, что подразумевает спасение трущихся поверхностей от изнашивания.

«Трение не может уничтожить пленку, оно ее создает» - Д. Н. Гаркунов

Открытие избирательного переноса при трении позволило разработать ряд принципиально новых материалов и технологий, находящихся в настоящее время все более широкое применение.

Их использование позволяет значительно сократить продолжительность приработки и повысить ресурс узлов трения.

Образование «сервоитных» пленок может происходить и в соединениях, не содержащих медных или других пластичных сплавов. Для этого необходимые компоненты должны быть введены в смазочный материал. Такой принцип лежит в основе разработки металлоплакирующих присадок.

В состав металлоплакирующих присадок могут входить Cu - медь, Zn - цинк, Ni - никель, Sn - олово, Ag - серебро, CuSn - бронза, Cu Zn латунь.

Эти металлы и сплавы с дисперсностью менее 100 нм находятся в специальном жидком составе – органическом комплексообразователе.

Уникальным является то, что пленка образуется в весьма «стесненных» условиях: сдвиговые и пластические деформации, высокие удельные нагрузки и температуры. В результате, «рожденная» в таких условиях пленка, обладает особыми свойствами – она пориста, параметр ее кристаллической решетки отличен от параметра решетки металла, полученного металлургическим путем.

При обычном трении, детали контактируют на очень малой площади, составляющей 0,01...0,0001 площади сопряженных поверхностей. В результате участки контакта испытывают высокие напряжения, что приводит к интенсивному изнашиванию.



При введении в смазочный материал металлоплакирующей присадки, происходит формирование сервоитной пленки из нанометричных кластеров металлов.

На основе металлоплакирующей присадки с размером частиц менее 100 нм, в смазочном материале образуются заряженные частицы (мицеллы). Направление движения мицелл в смазочном материале осуществляется за счет разности потенциалов, возникающих в узлах трения. В начальный момент контакта, когда частицы металлов заряжены положительно, разрушение мицелл происходит на одной поверхности.

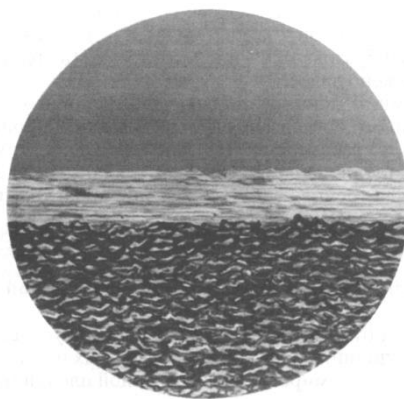


Рис.1 Пленка меди на стальной поверхности /косой срез/

Затем происходит перезарядка, и аналогичный процесс протекает уже на другой поверхности. Заряженные частицы переносятся на контактирующие микровыступы шероховатостей поверхности, а затем происходит заполнение и впадин микронеровностей. Описываемый процесс продолжается до образования на обеих поверхностях трения сервовитной пленки толщиной 1 - 3 мкм, после чего процесс переноса прекращается и наступает режим пассивации. Толщина образовавшейся сервовитной пленки соответствует размерам микронеровностей (или перекрывает их) большинства деталей общего машиностроения.

При избирательном переносе, трение осуществляется через пластически деформируемый мягкий и тонкий слой металла. В результате площадь фактического контакта возрастает в 10-100 раз, а материал деталей испытывает лишь упругие деформации.

Помимо увеличения площади фактического контакта, тонкие пленки мягкого металла сами по себе уменьшают трение между твердыми соприкасающимися поверхностями, коэффициент трения близок к коэффициенту жидкостного трения.

Образованная в зоне контакта металлоплакирующая сервовитная пленка, является нанообъектом, ведет себя подобно ньютоновской жидкости, как при растяжении, так и при сжатии и, как следствие, становится безыносной и сверхантифрикционной /Кужаров А.С./.

На данный момент обработано более 100 000 единиц техники общего машиностроения.

Одним из крупных объектов применяемых данную присадку является медьперерабатывающий завод г.Жезказган (Казахстан).

Трибокомпозиция МКФ-18НТ позволяет:

- увеличить компрессию ДВС на 2-4 кгс/см²;
- уменьшить расход смазочного масла на угар в 1-1,5 раза;
- уменьшить расход топлива на 100 км пробега а/м;
- уменьшить содержание СО и СН в выхлопных газах в 1,5-2 раза /металлы

входящие в состав присадки МКФ-18НТ являются катализаторами горения/.

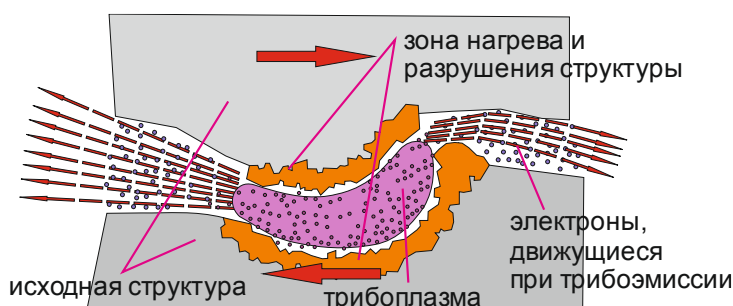
- увеличение ресурса ДВС;
- уменьшение шума и вибрации;
- понижение рабочей температуры в зоне трения;
- увеличение срока службы подшипников качения и скольжения в 3-5 раз;

Дополнительная информация на сайте www.tribo18.ru

Катализатор DLC пленок «Evo[®]lution»

Последние 15 лет английские и японские трибологи ведут активный поиск присадок или катализаторов синтезирующих в присутствии масла DLC пленки на поверхности трения.

В трибохимии, относительно новой самостоятельной химической области, до сих пор нет строгой единой теории. Теории, объясняющей и обобщающей сложные и многообразные физико-химические явления и процессы, вызываемые действием механических сил на вещество. Можно привести такой пример. Высекание искр при ударе друг о друга двух кусков кварца известно человеку с доисторических времен. Обыкновенный механический удар. Казалось бы, примитивное действие. На самом же деле оно вызывает сложную комбинацию деформационно-структурных, термических,



электромагнитных, оптических и химических процессов. Они включают возникновение и миграцию дефектов структуры твердого вещества, его аморфизацию и быстрый локальный разогрев в месте удара. Одновременно рвутся

химические связи при образовании свежей поверхности, и на ней появляются короткоживущие активные центры. Добавим для полноты картины эмиссию электронов, фотонов, ионов и возникновение электростатического заряда.

На сегодняшний день единственной теорией способной объяснить феномен синтеза «DLC пленок» на поверхностях трения является модель инициации трибоплазмы в узлах трения.

При отсутствии теории в трибохимии используются аналогии и модели, заимствованные из других областей науки. И понятие «магма» здесь не исключение. По представлениям немецкого физико-химика П.А. Тиссена (P.A. Thießen), удар зерен друг о друга при измельчении приводит к концентрации энергии в микроскопической поверхностной зоне (1967г.). В результате на очень короткие промежутки времени образуется тонкий слой расплава, и даже вещество в высокоэнергетическом состоянии, аналогичное плазме или магме (рис2.).

Процесс трения представляет собой совокупность большого числа актов механического взаимодействия микронеровностей сопряженных поверхностей. Выступы двух скользящих навстречу друг другу микроконтактов получают удар – упругий, или пластический. Взаимодействие микроконтактов происходит за очень короткое время 10^{-7} –

10^{-8} с, в течение которого к контакту подводится большая энергия при этом площадь очагов разогрева составляет в среднем $10^{-2} - 10^{-4}$ см², а продолжительность их существования порядка $10^{-5} - 10^3$ с.

В целях объяснения в рамках единой модели большинства явлений, сопровождающих механохимическую активацию веществ, Тиссен, Мейер и Хейнике создали модель «трибоплазмы». Согласно этой модели, выделяющаяся при механическом воздействии на вещество энергия может значительно превышать теплоту плавления и вследствие слабой теплопроводности твердых тел приводит не только к плавлению вещества, но и к его сублимации, а далее к возникновению такого состояния, при котором оно находится в виде ионов и электронов (плазменное состояние).

Для таких условий законы классической термодинамики не выполняются; материал тонкого поверхностного слоя преобразуется, в результате в зоне соударения неровностей образуется магма-плазма (трибоплазма); процесс сопровождается эмиссией электронов. Эмиссия электронов с поверхности трения направлена в смазочный материал, в котором присутствует «катализатор DLC пленок».

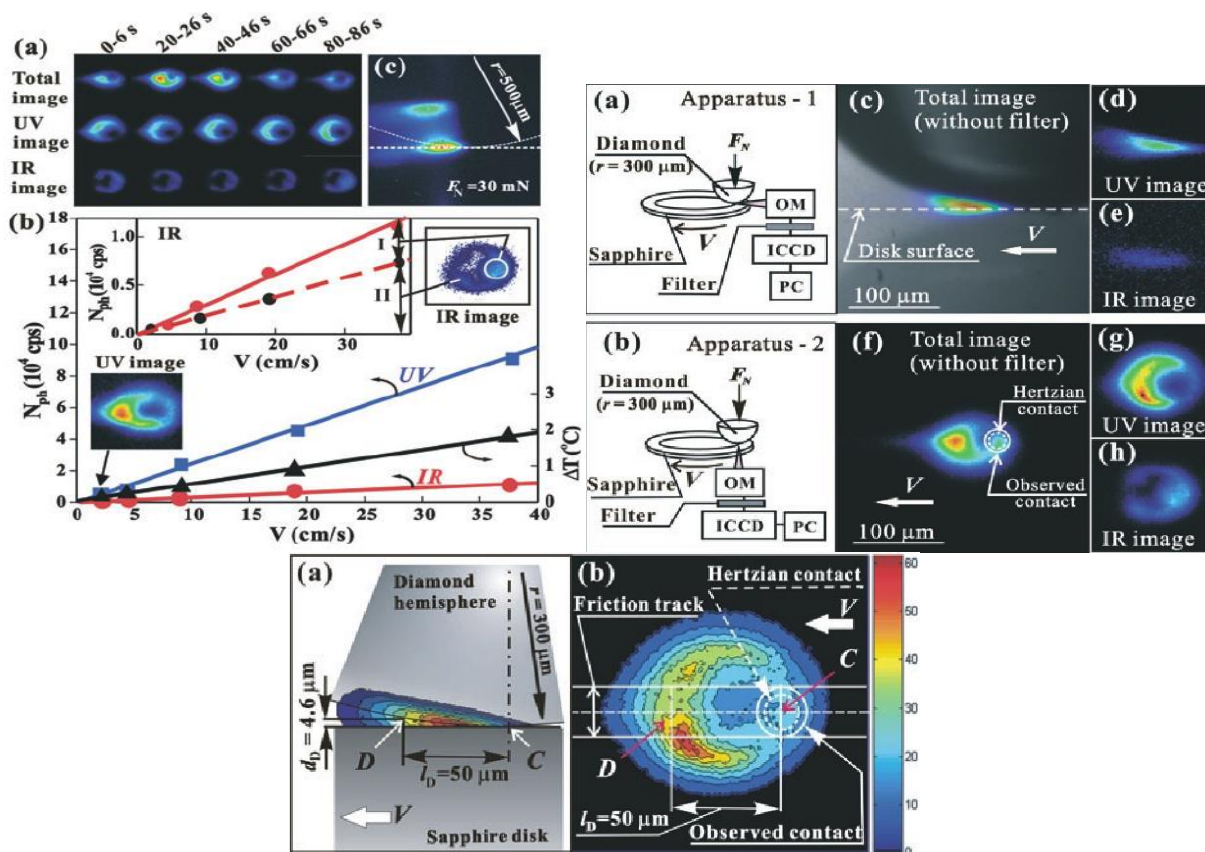


Рис.2 Показано наличие трибоплазмы, генерируемой скользящим контактом между алмазной сферой и сапфировым диском при атмосферном давлении воздуха.

Электроны, соударяясь с атомами, образующими смазочный материал и атомами вещества, введенного «катализатора DLC пленок «Evo[®]lution» – возбуждают их. Это приводит к ионному распаду структуры катализатора «Evo[®]lution».

Данный процесс запускает механизм, конечным результатом которого станет формирование на поверхностях трения защитных DLC пленок, состоящих из продуктов износа исходных веществ (в частности продукты износа смазочного материала (сверхмелкодисперсная сажа), являющаяся не чем иным как модифицированной формой углерода).

Следствием выше описанных процессов является избирательная адсорбция ионов углерода, выстраивающих кристаллическую решетку твердой фазы, на металлическую поверхность под действием когезионных сил (когезионные силы - силы притяжения).

В силу особенностей запускаемых механизмов катализатор DLC пленок «Evo[®]lution» одинаково эффективен как для защиты поверхностей из черных, так и из цветных металлов.

Keiji Nakayama в 2002 году экспериментально подтвердил наличие трибоплазмы вокруг скользящего контакта алмазной сферы при вращении сапфирового диска.

Интенсивное инфракрасное излучение показывает, что поверхность трения нагревается. С другой стороны интенсивное ультрафиолетовое излучение газового разряда, наблюдаемое вне скользящего контакта, локализация которого есть между зазором сферы и диска в пределах от 1.3 мкм. и 7.8 мкм.

Наблюдаемая плазма испускает трибоплазму в скользящем контакте вызванным фрикционным нагреванием или высокой энергией формируемой в деформированном слое за контактом скольжения. Кроме того интенсивность излучения вокруг скользящего контакта растет с увеличением удельного сопротивления материалов. Это говорит о том, что трибоплазма генерируется электризацией трением как показано на рис. 3.

Однако, необходимо дальнейшее исследование для лучшего понимания трибоплазмы вызванной электризацией при трении.

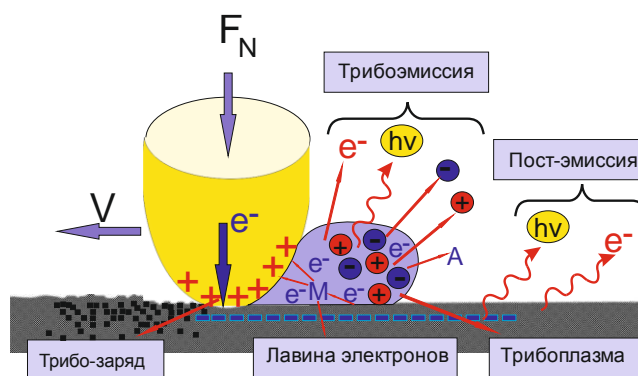


Рис. 3. Трибоэлектромагнитные явления, вызванные скольжением.

В ходе трехлетних исследований предприятием ООО НВФ «Триботехнология» в 2006 году был синтезирован катализатор - «Evo[®]lution», формирующий в узлах трения алмазоподобные углеродные пленки /Diamond - like carbon films - DLC films/.

ООО НВФ «Триботехнология» предлагает применить технологию «синтеза DLC пленок на поверхностях трения» - являющуюся совершенно новым направлением в области трибологии, позволяющую с помощью синтезированного катализатора обрабатывать и



восстанавливать изношенные поверхности деталей в режиме штатной эксплуатации всего механизма.

На сегодняшний день предприятие ООО НВФ «Триботехнология» единственная организация, синтезировавшая подобный препарат.

Применение технологии «синтеза DLC пленок на поверхностях трения» эффективно также при изготовлении и производстве новых деталей и узлов машин, станков и другого оборудования.

Синтезированная DLC пленка по имеющимся данным имеет следующие характеристики:

1. Твердость DLC пленки превышает твердость азотированной стали /60-65 ед. по Роквеллу/ на 50%;
2. Абсолютная прозрачность;
3. Коэффициент трения в узлах трения на 30% меньше чем в узле трения сталь по стали в присутствии синтетического масла.

Составы, произведенные на основе катализатора DLC пленок «Evo[®]lution» совместимы со всеми маслами и смазками, используемыми в машинах и механизмах.

Высокий эффект от применения катализатора DLC пленок «Evo[®]lution» наблюдается при обработке двигателей всех типов, подшипников скольжения и качения, редукторов, насосов, приводов, а также металлообрабатывающих станков, инструмента и оборудования.

Основным направлением дальнейшего продвижения катализатора DLC пленок «Evo[®]lution» может представлять собой создание масел с высочайшими характеристиками как по коэффициенту трения, так и по ресурсу.

На данный момент обработано более 15 000 объектов общего машиностроения.