

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СЕРПЕНТИНОВЫМИ ТРИБОСОСТАВАМИ

**А.В. Дунаев, канд.техн.наук (ФГБНУ ГОСНИТИ,
e-mail: dunaev135@mail.ru)**

Аннотация. Приведены факторы, обуславливающие образование триботехнического покрытия и повышенное водовыделение с ОГ изношенных ДВС при их обработке серпентиновыми трибосоставами.

Ключевые слова: безразборный ремонт, двигатель внутреннего сгорания, серпентины, ремонтно-восстановительное покрытие, ресурс, ОГ, вода.

С 1987 г. в России, а позже на Украине, в Финляндии, Китае, Японии, в Германии, Швеции, Италии, в других странах Европы и Азии распространяется технология безразборного ремонта изношенных сопряжений трения самых различных агрегатов во многих отраслях использования техники и оборудования [1]. При этом наиболее широко используются высокодисперсные порошки разновидности минерала серпентина: антигорит, хризотил, лизардит 1Т. Они описываются общей формулой $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, но идентифицируются рентгенофазовым анализом различно, библиотека спектров ICDD показывает до 12 минералов. Однако, наши исследования 19 серпентиновых порошков из Петербурга, Чусовского р-на Пермской обл. и из Грузии на дифрактометре XRD 6000 японской фирмы Shimadzu с библиотекой спектров ICDD минерала антигорита не выявили.

К 2010 г. в РФ безразборным ремонтом обработано до миллиона агрегатов, в основном ДВС легковых автомобилей, в т.ч. большое количество дизелей тепловозов, судов, автомобилей, разных агрегатов трансмиссии и гидрооборудования. Имеются такие работы в военной сфере США, стран НАТО, в ВМФ и авиации РФ. В Японии РВС-ремонт проводят 30 автотехцентров, аналогично – в Финляндии, а в Китае имеется госпрограмма такого обслуживания ж.-д. транспорта. Минеральные ремонтно-восстановительные составы (РВС или ГМТ), кроме 20 фирм России производят на Украине, в Японии (5 видов), Германии, Швеции. Имеются и другие трибосоставы, в т.ч. в США.

ГМТ, а в последние годы – наноалмазные трибосоставы, создают на поверхностях трения антифрикционное противозносное покрытие, изменяющее условия трения и являются эффективным средством в борьбе с трением и износом, уносящими ежегодно до 15% ВВП человечества, заметно повышают ресурс и работоспособность изношенной техники.

Производители масел подвергают трибосоставы обструкции как недомыслие. Но они, работая не с маслом, а с поверхностями трения, постепенно завоевывают доверие владельцев техники. Некоторые разработчики масел, как ВНИИ НП, уже признают ГМТ, а концерн ХАДО с 2000 г. выпускал масло ХАДО с серпентиновой добавкой и, возможно, что это же без оглашения делают и зарубежные фирмы. А после 10-летних испытаний Харбинская фирма закупила концентрат Красноярского наноалмазного трибосостава на 5 тыс. т моторного масла.

ГМТ создают антифрикционное покрытие толщиной до 15 мкм. При высокой олеофильности даже такое тонкое покрытие кардинально уменьшает силы тре-

ния, уплотняет сопряжения, повышает мощность ДВС, снижает расход ТСМ, выброс вредных веществ в ОГ бензиновых и сажи из ОГ дизелей, продлевает ресурс моторного масла, до 3-х раз - ресурс ДВС по состоянию ЦПГ и КШМ. ГМТ, снижая ударную нагрузку, вибрации, температуру масла и затормаживая его старение, продлевает ресурс силовых агрегатов на год-два.

РВС-обработка создает на поверхностях трения аморфное углеводородное покрытие (рис. 1-2). На его поверхности до 90% углерода, электросопротивление в трибопаре поднимается до сотен кОм, на самом покрытии 10 – 300 Ом/см, и покрытие сгорает от электрического тока. Эффект РВС-обработки проявляется через час, но продолжает наращаться в эксплуатации и после смены масла. Поверхность покрытия высокой чистоты и твердости прозрачно, под ним видны следы механической обработки. Цвета покрытия – жёлто-золотистый, золотисто-сиреневый, светло-серый.

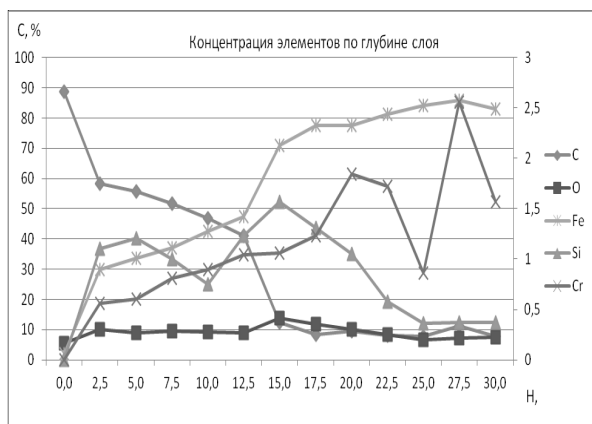
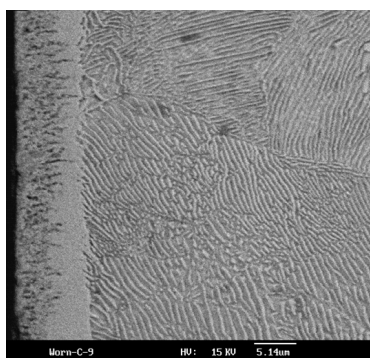
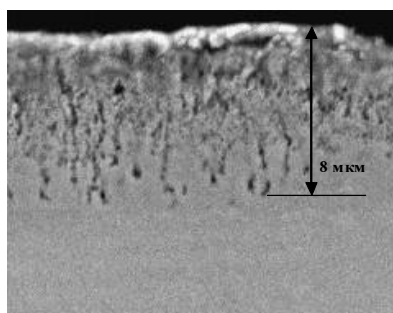


Рис. 1. Элементный состав РВС-слоя по глубине по данным к.т.н. Ю.Г. Лаврова (НПТК СУПРОТЕК)

Согласно рис. 1 на поверхности детали, т.е. на дне РВС-слоя, химэлементы из состава стали, а выше в слое состав меняется с преобладанием углерода. В рентгеновском растровом микроскопе «Camscan-4DV» слой резко отличается от основы, большая его часть пориста (поры 1-15 мкм), имеются сглаженные участки. В спектре слоя с микроанализатора «LINK» наблюдается повышенное содержание Ca, Al, поверхность слоя обогащена Si, Ca и Mg. РВС-слой обеспечивает повышение износостойкости сопряжений в 1,5-2 раза и снижение коррозионного изнашивания.



а



б

Рис. 2. Шлифы РВС-обработанных деталей:

а) шлифы цилиндра китайского тепловозного дизеля, прошедшего 150 тыс. км после двукратной обработки АРТ-составами (РВС): слева виден неметаллокерамический слой;
б) аналогичный шлиф детали, обработанной РВС от НПО «Руспромремонт»
(по Павлову О.Г. и Пустовому И.Ф.)

Исследования на АСМ в Инжиниринговом центре «ЛИК» [2] подтверждают пористую структуру РВС-слоя. Ими показаны цепочки сталагмитов, выросших «в областях рядом с границами зерен кристаллов», что обуславливает «ячеистое строение структуры начального участка первого *смазочного слоя*».

Авторы [2] полагают, что минеральный фундамент РВС-слоя «имеет статистически регулярное ячеистое строение со стенками переменной высоты до 1 мкм», «имеет крайне высокую адгезию к поверхности» (гендиректор ООО «Триггер» утверждает, что первичный РВС-слой легко стирается рукой), износостойкость и антифрикционность: испытания порошка серпентина в режиме практически сухого трения на ЧШМ-1 показали коэффициент трения 0,6-0,8 без схватывания и задира.

Далее авторы [2], исходя из строения пленки, исследованной ИК-спектрометром Cary-100 (Varian), и величины работы когезии окончательно идентифицируют РВС-покрытие как ячеистый минеральный скелет, прочно удерживающий сорбцией и капиллярными силами слой трибополимера, а «трибополимер перешит избытком радикальных фрагментов и заполнен смазочным материалом».

Далее [2] авторы утверждают, что «тонкая прозрачная РВС-пленка, прочно связанная с дорожкой трения, гидрофобна, полярнее минерального масла, не смывается растворителями, может быть удалена только механически и в смазочной среде обеспечивает коэффициент трения не более 0,10 (у нас, рис. 3 - около 0,04).

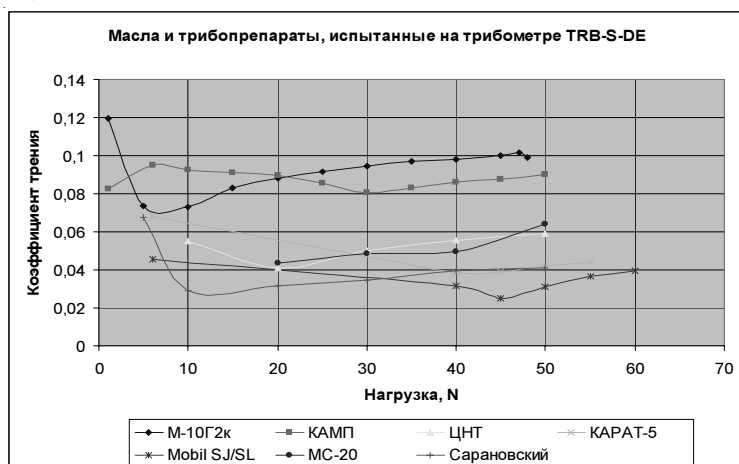


Рис. 3. Коэффициенты трения масла Мобил API SJ/SL SAE 05W-30, масла М-10Г_{2к} (ЗАО Роснефть) и введенных в последнее трибопрепаратов: профилактического Камп (ООО «Автостанкопром»), ремонтно-восстановительных серпентиновых ЦНТ (ООО «ЦНТ»), МС-20 (ГОСНИТИ и ООО «РИП»), «Сарановский» (ГНУ ГОСНИТИ и ГНУ ВИЭСХ) и нанодлмазного КАРАТ-5 (ООО «Реал-Дзержинск» и Красноярский НИИ химии и химической технологии)

РВС-процесс с серпентинами интенсивнее идет на поработавших, частично расходуемых им маслах и целесообразен за 50-100 мото•ч до смены масла. Добавление в ГМТ сажи интенсифицирует процесс. Параметры низкого трения сохраняются и после смены масла до износа покрытия. Факторами РВС-процесса являются контактное давление и температура, в холодном масле процесс неинтенсивен.

При РВС-обработке ДВС работают неустойчиво, из выпускной трубы может выделяться серо-грязный дым с паром, каплями и брызгами воды, а повышенное водовыделение, до 1,5 л – не редкость, что вызывает удивление. Однако считается, что РВС-специалисты преувеличивают водовыделение, т.к. мотор на холостом ходу несколько остывает и идет обычная конденсация па-

ров воды. Но за 25 лет РВС-пионерами и их последователями именно необычное водовыделение подтверждается и в холод, и в жару 40°C. Выявление причины водовыделения поможет понять физику РВС-процессов, но пока оно не понятно.

Водовыделения нет при металлоплакирующих, при органических и химически активных составах, а при ГМТ-обработке оно подтверждается такими фактами:

- его заметили с 1998 г., но приняли несущественным побочным явлением;
- с 2000 г. водовыделение при любой, даже очень жаркой погоде, у прогретого мотора стали считать признаком РВС-процесса, чего нет при обычном пуске ДВС, а после ГМТ-обработки оно иногда продолжается несколько дней или много дольше;

- вода, особенно при первой РВС-обработке, выделяется чаще всего; обычно воды немного – 50-100 мл и, как минимум, идет «парок»;

- объем воды пропорционален рабочему объему ДВС, на дизеле КамАЗ-740 было выделение до 1,5 л воды; при перегазовке вода брызжет из выпускной трубы;

- вода выделяется с 5-10-ю по 35-40-ю минуту обработки даже без магния в трибосоставе;

- вода заметнее идет при использовании несвежих минеральных масел, причем при обработке мощного дизеля может израсходоваться до 1 л масла;

- при водовыделении расход топлива на 10-15% снижается, после него повышается, но остается меньше исходного на 5-8%;

- из-за очистки ЦПГ РВС-обработкой компрессия в ДВС уменьшается, но по мере наращивания РВС-покрытия она повышается;

- считается, что наибольшее водовыделение у изношенного ДВС с загрязненной, закоксованной ЦПГ с большими значениями «остаточного вакуума»;

- в бензиновых ДВС водовыделение активнее, чем в дизелях, но также зависит от качества масла.

Повышенное водовыделение из выпускного тракта ДВС при РВС-обработке замечали и подтверждают абсолютно все заслуживающие доверия практики РВС-технологии и ученые. Оно, несомненно, является качественным признаком работы серпентинов. Недаром о РВС-процессе сложилась поговорка: «Если воды нет – добавь серпентина». Но отмечается, что водовыделение скрадывается в выпускном тракте при наличии нейтрализаторов ОГ и турбокомпрессора.

Необычное водовыделение при РВС-обработке ДВС, возможно, сопряжено и с повышением теплотворной способности топлив (по данным к.т.н. Лазарева С.Ю. в МВА им. Н.Г. Кузнецова - газа для турбин крейсеров, флотского мазута, котельно-печного топлива) при вдувании в пламя пыли серпентина, а также с повышением теплотворной способности дизтоплива и бензина при вводе в них серпентиносодержащей трибодобавки АРВК-т от ООО «Венчур-Н».

В противовес изложенному явилось сообщение д.т.н., зав. каф. «Износостойкости машин и оборудования» РГУНГ Пичугина В.Ф. Он провел «безразборный ремонт» металлоорганическим составом на основе олова без каких-либо минералов более 500 ДВС автомобилей ВАЗ. И при каждом введении этого состава (в цилиндры и в картер) через несколько минут работы, обязательно прогретого мотора, начиналось выделение капель, брызг воды.

Каков же механизм образования РВС-покрытия и водовыделения? Известно, что трение производит очистку до ювенильности и каталитическую активацию поверхностей деталей и каталитическую активацию самих минералов, особенно слоистых гидросиликатов магния и алюминия. При этом целесообразно учитывать:

- по данным Лебедева С.А (ЦНТИМАШ, 1960), корпуса маслофильтров большинства моторов 50-х годов в США производилось только из магниевых сплавов;

- тогда же фирма «Континенталь» (США) – производитель маслофильтров к автомобильным ДВС, устанавливала в их корпусах кольцевую прокладку из сплава с высоким содержанием магния, обладающего высокими щелочными свойствами. Прокладка, омываемая потоком фильтруемого масла, интенсивно нейтрализует кислоты масла, уменьшая опасность коррозии и интенсификацию полимеризации и накопления смол в масле;

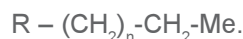
- канадская фирма «Магма Пауэр» в те же годы выпускала резьбовые пробки из магниевых сплавов в масляный поддон ДВС с назначением, описанным выше;

- в 1970 г. в УПИ (Строганов А.А. «200 советов автолюбителям», М., 1971), введя в маслофильтр мотора ВАЗ магниевую фольгу (80x20x0,4 мм), добились ресурса тех времен невысокого качества масел до 50 тыс. км и практически исключили изнашивание сопряжений, получив за это золотую медаль ВДНХ.

И, как видно, не случайно, магний – основа серпентинов, но к ним триботехнически близки тальк, монтмориллонит, каолинит, цеолит, аморфный кремнезем.

Таким образом, возможно, что под воздействием мягкой шлифовки минералами может идти образование каталитически активных поверхностей металлов, деструкция и каталитическая активация частиц минералов, развал молекул углеводородов моторного масла и коксовых отложений ЦПГ с образованием РВС-слоя и дополнительной воды.

Выдающимся трибологом А.С. Ахматовым [3] еще до 60-х годов были обобщены механо-химические явления, отслеженные с 40-х годов. Здесь при механическом воздействии на цепочечные молекулы углеводородов происходит их разрыв с протеканием необычных химических реакций. При этом разрывы цепей возникают в результате именно из-за механических напряжений в цепях, превышающих предел их прочности. А механическими воздействиями на углеводороды могут быть растирание, диспергирование, кавитация, продавливание через микроканалы и щели, что и имеет место в ЦПГ ДВС. Описано [3], что под действием больших локальных давлений наблюдаются нарушения ковалентных связей с энергией порядка 100 ккал/моль, разрываются связи C – C с энергией порядка 80 ккал/моль и таким чисто механическим путем возникают свободные радикалы, например R-CH₂·, обладающие высокой реакционной способностью. После их образования дальнейший ход химических реакций может быть различен [3]. Так, если механической обработке подвергается смесь двух и более видов гомогенных цепей, то в результате механо-химических эффектов могут возникать новые гетерогенные цепи, построенные из различных блоков. А.С. Ахматов считает также [3], что в условиях механо-химических явлений возможны и прямые химические реакции свободных радикалов с ювенильной поверхностью металлов на участках ее обнажения при трении и износе по схеме:



А.С. Ахматов предвидел: «Несмотря на отсутствие в настоящее время (1963 г.) экспериментальных данных можно предположить, что механо-химические явления имеют место и при трении со смазкой... когда механической деструкции могут подвергаться высокомолекулярные молекулы смазки... Именно этим и частично объясняется смазочная способность неполярных углеводородов» [3].

Следует принять во внимание и дискуссию, бывшую в 70-х гг. в журнале «Двигателестроение» по поводу лаковой пленки на деталях ЦПГ ДВС: польза или вред? Образование пленки в те годы считалось естественным явлением.

В наше время неоднократно [4, 5] выявлена трибодеструкция смазок с выделением водорода и метана в результате трибохимической активации материалов в зоне трения и разрыва связей в углеводородах. При этом интенсивность выделения водорода и метана значительно возрастает с повышением сил трения, хотя трибодесорбция водорода может снижаться примерно в 2 раза, а выход метана остается прежним, с повторяющимися всплесками.

И в подтверждение предположений А.С. Ахматова выявлено [4] образование полимерных пленок из свободных радикалов органических веществ, образующихся при деструкции смазки на активных центрах частиц минералов [6], разрушающихся в процессе трения. Активными центрами и частицами реагентов могут быть и точки контакта поверхностей трения, заново образующихся при трении в среде минералов [7]. Частота эффективных столкновений частиц и количество активных центров в единице объема реакционной среды определяют скорость химических реакций.

Все же для более точного объяснения процессов водовыделения и образования РВС-покрытий требуются исследования при РВС-обработке силовых и гидроагрегатов не только серпентинами, но и монтмориллонитом, каолинитом и полититанатом калия. А при анализе испытаний ДВС необходимо учитывать их рабочий объем, объем масла, количество введенного минерала и диагностические параметры ЦПГ до и после обработки, расход топлива, состояние масла по капельной пробе, его угар и другие доступные параметры.

Литература

1. Дунаев А.В., Остриков В.В., Пустовой И.Ф. Исследования ГОСНИТИ, ВНИИТиН и ООО «РИП» в области нетрадиционной триботехники // Труды ГОСНИТИ. Т.110. Ч. 1.- М., 2012 С. 79-84.
2. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н. и др. Структура смазочных слоев, формируемых при трении в присутствии присадок минеральных модификаторов трения. Трение и износ.- 2009, № 5 (30). С. 516-521.
3. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М., Государственное издательство физико-математической литературы, 1963, 472 с.
4. Русанов А.В., Невшупа Р.А., Фонтэн Ж., Ле Монь, Мартан Ж.М. О газовой выделении при трении пленок из алмазоподобного углерода в сверхвысоком вакууме. Там же, с. 111-115.
5. Мотова Е.А. Исследование процесса наводороживания при абразивном изнашивании. Там же, с. 292-297.
6. Громаковский Д.Г. Нанотехнология модификации поверхностей трения фторидами металлов. Там же, с. 206-208.
7. Булгаревич С.Б., Бойко М.В., Колесников В.И., Козаков М.С. Кинетика механоактивации трибохимических процессов. Там же. С. 319-332.

References

1. Dunaev A.V., Ostrikov V.V., Pustovoy I.F. Research GOSNITI, VNIITiN and LLC "RIP" in the field of alternative tribotekhnika // Proceedings GOSNITI. T. 110, V. 1. - M., 2012, P. 79-84.
2. Lyubimov D.N., Dolgoplov K.N. and etc. The structure of the lubricant layer formed at friction in the presence of mineral additives friction modifiers. Friction and Wear. - 2009, № 5 (30), С. 516-521.
3. Ahmatov A.S. Molecular physics of boundary friction. M., State publishing house of physico-mathematical literature, 1963, 472 p.
4. Rusanov A.V., Nevshupa R.A., J. Fontaine, Le Mon, Martan G.M. About gazovye of the friction of the films of diamond-like carbon in an ultrahigh vacuum // Tribology. International encyclopedia. Volume IV. Physico-chemistry of the processes of tribology. Saint-Petersburg, 2012, P. 111-115.

5. Motova E.A. Study of the process of hydrogenation with abrasive wear. In the same source P. 292-297.
6. Gromakovskiy D.G. Nanotechnology modification of the friction surfaces fluorides of metals. In the same source, P. 206-208.
7. Bulgarevich S.B., Boyko M.V., Kolesnikov V.I., Kozakov M.S. Kinetics fur-noactivate tribochemical processes. In the same source, P. 319-332.

Recovery issues worn engines internal combustion serpentinum triboadditives

A. V. Dunaev, candidate of technical Sciences, GNU GOSNITI RAAS

Annotation. The factors contributing to the formation of tribotechnical coatings and increased water in exhaust gas combustion engine when processing them serpentinum additives.

Keywords: Repair, internal combustion engine, serpentines, repair and regenerate covering, resource, exhaust gas, water.