

ГИПОТЕЗЫ МЕХАНИЗМОВ ДЕЙСТВИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СЕРПЕНТИНОВЫХ ТРИБОПРЕПАРАТОВ

А.В. Дунаев¹, канд.техн.наук; В.В. Зуев², д-р геол.-мин.наук, академик РАЕН; Д.В. Васильков², д-р техн.наук; Ю.Г. Лавров², канд.техн.наук; О.Г. Павлов², канд.биол.наук; И.Ф. Пустовой², С.А. Сокол³
1 – г. Москва, 2 – г. Санкт-Петербург, 3 - г. Пятигорск

Аннотация. Изложены основные версии механизма образования защитной структуры на поверхностях трения, компенсирующей их износ, при введении в трибосреду ультрадисперсных порошков серпентина, выбрана наиболее вероятная.

Ключевые слова: серпентин, трение, давление, температура, трибодеструкция, покрытие, алмазо-подобная углеродная пленка.

Технология изготовления и применения составов (далее – РВС-технология) на основе серпентиновых минералов используется с 90-х годов XX века как эффективный способ формирования антифрикционных покрытий с восстановительным эффектом при эксплуатации машин, который также может применяться и при изготовлении деталей, когда требуется их высокая износо- и коррозионная стойкость [1].

Известные для этой технологии гипотезы механизма работы трибопрепаратов на основе слоистых силикатов и, в частности, на основе серпентинитов приведены ниже:

- появившаяся исторически первой – напрессовывание или нагартывание частиц серпентина на поверхности трения; главный фактор образования защитной структуры (покрытия) – механическое давление;

- во второй гипотезе за основу взяты процессы, описываемые в микрометаллургии и ионная диффузия; здесь главные факторы процесса формирования защитного слоя – высокая температура и давление. Здесь принято, что деформация выступов микрорельефа поверхностей трения сопровождается локальным повышением температуры и в присутствии геомодификаторов протекают микрометаллургические процессы с диффузией компонентов трибосреды в поверхности деталей. Авторы этой гипотезы констатируют, что в то же время образующиеся новые компоненты заполняют впадины микрорельефа, выравнивая и наращивая поверхность трения; эта гипотеза направленной ионной диффузии отразилась в названии трибопрепаратов НИОД от НПИФ «Энион-Балтика» (СПб);

- гипотеза двухстадийной механотермохимической деструкции частиц серпентина В.В. Зуева [2], который отмечает роль водорода в восстановлении разорванных связей октаэдрических соединений кремния с кислородом, а также реакций замещения в серпентине атомов магния железом, адгезией новых компонентов на поверхностях трения, а возможно, и диффузией магния в них;

- гипотеза канд.техн.наук Ю.С. Рыбникова - остекловывание поверхностей трения, т.е. образование железо-магниевого стекла, имеющего высокое сродство к железу. Этой гипотезе соответствуют высокие физико-механические показатели вновь образованной поверхности: твердость, электросопротивление, чистота, теплостойкость и прозрачность. Но эта гипотеза не объясняет маслофильность пленки, наличие в ее структуре большого количества углерода;

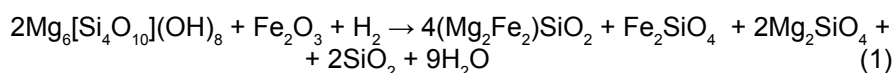
- НПЦ «Конверс-Ресурс» для своих трибопрепаратов на основе солей меди жирных кислот и серпентина принял гипотезу избирательного переноса, специфического и редко реализуемого. Но так условно и неточно названный «избирательный перенос» по Д.Н. Гаркунову и И.В. Крагельскому, происходящий в кислой среде в паре сталь-бронза, не сопоставим с РВС-процессом в среде моторных масел со щелочной реакцией, так как имеет в своей основе совершенно иные физико-химические механизмы;

- гипотеза, учитывающая вспомогательный процесс лакообразования, например, на деталях ЦПГ с насыщением лаковой пленки продуктами трибосреды. На высокотемпературных поверхностях деталей ЦПГ ДВС происходит термодеструкция масел и их тяжелые фракции откладываются в виде пленок. Пленка на гильзах цилиндров может долго сохраняться и уменьшать изнашивание, что обсуждалось в 70-х годах журналом «Вестник машиностроения». Предполагается, что это сопутствующий процесс, происходящий независимо от трибопрепаратов. Но, как утверждают авторы РВС-технологии, образование покрытия происходит без масла, даже в водной среде, хотя протоколов таких испытаний нет;

- известна гипотеза последовательности разных процессов, в частности, от Д.М. Телуха [3]. Он отмечает, что большинство РВС-составов включают лизардит с примесями магнитного и хромистого железняка, частиц оливинов, а менее качественные составы - с микропримесями талька, кварца и других глинистых оксидов алюминия и кремния, имеющих малую адгезию к сталям. В лизардите конфигурации 1Т атомы в плоскостях связаны значительно сильнее, чем между плоскостями, именно поэтому и происходит сдвиг слоев частиц. Повышенная адгезия к стали плоскостей частиц обусловлена их высокой спайностью и сродством к железу. Д.М. Телуха считает, что магний и вода частиц участвуют в ионном обмене и на поверхностях трения образуются прочные гидратированные слои, соединенные гидрофильной прослойкой. Д.М. Телух, как и другие исследователи, утверждает, что эти уникальные свойства серпентина воспроизвести искусственно невозможно, что подтверждено и в кандидатской диссертации В.П. Зарубина, выполненной в Ивановском химико-технологическом университете.

Автор [3] этой гипотезы считает, что частицы серпентина с оптимальными размерами 5 – 10 мкм измельчаются в трибопаре до 2 мкм, что соответствует оптимальной шероховатости и наибольшей износостойкости сопряжений. Более же мелкие частицы образуют конгломераты размером 100 – 120 мкм, отфильтровываются или выпадают в осадок и в трибопрепарате не желательны и даже вредны.

В процессе трения частицы минералов подшлифовывают поверхности сопряжений, освобождают их от окисных пленок и ослабленных структур. Далее измельченные частицы лизардита вдавливаются во впадины микро-рельефа трущихся поверхностей. Здесь, благодаря выделению тепла и присутствию катализаторов (в т.ч. ювенильной поверхности металлов), ускоряются ионно-обменные реакции, атомы магния в серпентине замещаются атомами железа деталей, а атомы железа деталей - магнием, что Д.М. Телух [3] описывает следующим преобразованием веществ трибосреды:



Далее, по Д.Н. Телуху, происходит спекание частиц из исхода преобразований (1) под действием давления и нагрева с образованием антифрикционного покрытия. Скорость его наращивания пропорциональна всплескам температуры и давлению на пятнах фактического контакта.

Однако эта гипотеза не объясняет наличие в РВС-пленке, по целому ряду данных, значительного количества углерода, а также нет доказательств образования гидратированных слоев с гидрофильной прослойкой.

А что же наиболее вероятно? Вот по данным исследований серпентиновых трибопрепаратов АРТ в Китае с использованием избирательной зонной дифракции, атомной спектроскопии, конфокальной Раман-спектроскопии, а также по данным исследований, проведенных в Пекинской и Лионской триболабораториях по заказу ООО «Неосфера» (СПб), установлено:

- основными элементами слоистого аморфного РВС-покрытия, формируемого серпентинами с участием процессов пиролиза и карбонизации масел и смазок, имеющего похожие с DLC-пленками химические и физические характеристики являются: **С** (30 - 35 %), **Fe** (35 -55 %) и **О (5 – 15%)**,

- а содержание кремния и магния из структуры серпентина - $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ - менее 1%, а потому слой не может называться металлокерамическим.

Близкие результаты по составу РВС-покрытий получены для НПО «Русспромремонт» в лаборатории «Семис» г. Хельсинки (табл. 1).

Таблица 1

Элементный состав по глубине РВС-покрытия

Go down	C	O	Al	Si	Cl	Cr	Fe	Mg	Total
1 (surface)	80.53	18.25	-	-	0.45		0.76	?	100.00
2, down	52.33	8.67	-	1.01	-	0.97	37.01	?	100.00
3	7.78	6.28	-	0.50	-	1.88	83.57	?	100.00
4	88.77	5.36	-	-	3.76		2.11	?	100.00
5	58.41	10.14	-	1.10	-	0.56	29.79	?	100.00
6	55.58	8.87	-	1.21	-	0.60	33.74	?	100.00
7	51.57	9.50	-	1.00	-	0.81	37.13	?	100.00
8	46.85	9.13	-	0.75	-	0.90	42.37	?	100.00
9	41.17	9.05	-	1.23	-	1.04	47.50	?	100.00
10	12.47	13.90	-	1.57	-	1.06	71.00	?	100.00
11	8.28	11.67	-	1.31	-	1.23	77.51	?	100.00
12	9.50	9.96	-	1.05	-	1.84	77.65	?	100.00
13	8.18	8.30	-	0.58	-	1.72	81.22	?	100.00
14	7.90	6.71	-	0.36	-	0.86	84.18	?	100.00
15	11.07	-	-	0.37	-	2.56	86.00	?	100.00
16	7.65	7.53	-	0.37	-	1.57	82.88	?	100.00
17	8.02	-	-	0.37	-	1.05	90.56	?	100.00
18	-	32.96	0.22	0.58	4.52	1,57	60.16	?	100.00

Из таблицы следует, что хотя в разных зонах защитного покрытия содержание химических элементов варьирует, все-же основными элементами являются железо, углерод и кислород, и концентрация первых изменяется в направлении к поверхности противоположным образом.

Толщина покрытий от долей мкм до двух десятков мкм. Предполагается наличие их упорядоченной кристаллической структуры, состоящей из карбида железа, в которую вкраплены высокоуглеродистые аморфные структуры размерами от 2 до 10 ангстрем. Характеристики покрытий: низкий коэффициент трения, высокая прочность, микротвердость, теплопроводность и коррозионная стойкость. Важным, по мнению канд.техн.наук В.Е. Ветчинкина, а также О.Г. Павлова и Ю.Г. Лаврова, свойством новой структуры является и ее высокая маслоудерживающая способность, что определяется ее толщиной. Само покрытие, по мнению О.Г. Павлова и Ю.Г. Лаврова, можно разделить на две фазы: первичная структура, сформировавшаяся на поверхности трения и вторичная - динамическая квазисжиженная, образованная из продуктов деструкции масла и трибосостава, а также продуктов износа. Отсюда нужно по другому понимать процесс непрерывного роста покрытия, когда первичная структура на поверхности трения закрыта вторичной, роль поверхности металла устранена, а наращивание слоя идет по другому, не совсем ясному механизму.

Имеются и другие данные, которые подтверждают, что вопреки утвердившимся в 90-х годах представлениям, РВС-покрытие не металлокерамическое, а ближе к углеродно-кластерному, как принято говорить сегодня – к алмазоподобным покрытиям. Так, например, после исследований А.Д. Дубинина [4] электрических трибопроцессов в настоящее время активно развиваются представления о трибоплазме (Keiji Nakayama, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2002 г.), что имеет сторонников и в РФ. В двух книгах, изданных в США и во Франции, примерно в 100 статьях зарубежных авторов, описываются тонкие, но прочные алмазоподобные углеродные антифрикционные пленки (DLC-films, Diamond Like Coating). Их образование при граничном или смешанном трении в присутствии какой-либо углеводородной смазки предполагается именно в высокотемпературной трибоплазме, впервые обнаруженной визуальными приборами и подробно описанной в Японии (Keiji Nakayama) [5].

Образование подобных пленок при трении твердых тел в присутствии смазки подтверждено многочисленными испытаниями, в том числе с использованием точнейшего метода определения химического и фазового состава поверхностей - Раман-спектроскопии (Ali Erdemir, Argonne National Laboratory, США). А исследования в РГУ им. И.М. Губкина [7, 8] д-ра техн. наук В.Ф. Пичугина, выявлено наличие углерода даже на поверхностях антифрикционных трибопокрытий при испытаниях медь- и алюминийсодержащих добавок.

Возможно, что причины образования защитного покрытия при работе серпентиновых трибопрепаратов и его состав становятся все более понятными [6]. Но это не противоречит эффективности геомодификаторов с высокодисперсными и обычными частицами (5-40 мкм), когда образуемое ими антифрикционное покрытие, как показано выше, имеет на поверхности до 100% углерода. Испытаниями С.А. Сокола [6] показано, что образование DLC при введении высокодисперсных серпентинов в узлы трения в присутствии смазки происходит менее чем за 15 минут, а перерыва, чтобы «непрочный трибослой окреп благодаря адсорбции атомарного водорода» - по его мнению, не требуется.

В свете последней из изложенных гипотез становится понятной наибольшая эффективность ультрадисперсных слоистых гидросиликатов при

их введении в отработанные масла или в масла с добавлением сажи. По многочисленным актам ООО «Неосферы», именно на дизельных ДВС с отработанным маслом наблюдаются наиболее выраженные эффекты от применения геомодификаторов.

По упрощенной, но маловероятной версии НПТК «СУПРОТЕК», серпентин способствует образованию дисперсного абразивного порошка карбидов железа (и здесь углерод), снимающего с поверхностей трения окисные пленки и непрочные структуры. Далее, по механизму избирательной адсорбции, ювенильная поверхность застраивается ячеистой структурой с порами, заполняемыми смазкой, что согласуется с высокой маслофильностью покрытий (по акад. Академии космонавтики РФ В.Е. Ветчинкину), являющейся важнейшей характеристикой этих покрытий.

В Военно-механическом университете д-ром техн.наук Д.В. Васильковым и инж. И.Ф. Пустовым прорабатывались и механо-химические представления РВС-процессов. Констатируется, что если из частиц серпентина размером 1-10 мкм, составленных оксосиликатными анионами и образующими ячейками соединений SiO_4 слоистые тетраэдрические системы, механоактивация и термодеструкция не образуют частиц нанометрового диапазона, то трибосостав неактивен и РВС-покрытие не формируется. То есть, по мнению этих и некоторых других авторов, разрушение при трении частиц серпентина до наноразмеров является необходимым условием начала формирования РВС-слоя.

Предполагается, что эти представления подтверждаются исследованиями, проведенными с китайскими учеными университетов «Тхань Хуа» и «Цин Хуа» на автоматизированном термоанализаторе TG-DTA-92, микровизоре отраженного света и на развертывающем зеркале C5M950 фирмы Optron. Взвесь из работавшего с серпентинами моторного масла была прокалена в течение часа при 800 °С. В результате прокаливании частицы взвеси были разрушены и скоагулированы, т.к. вследствие дегидратации частицы теряют заряд и исчезают силы их отталкивания. Трибодеструкция и прокатка частиц серпентина образовывали чешуйки длиной до 100 нм, а в поперечнике около 1 нм (рис. 1). В данном случае из кристаллического состояния вещество перешло в агрегаты наноразмерных чешуек. Эти неожиданные результаты прокаливании требуют дополнительного осмысления в свете вероятности их аналогии с трибопроцессами.

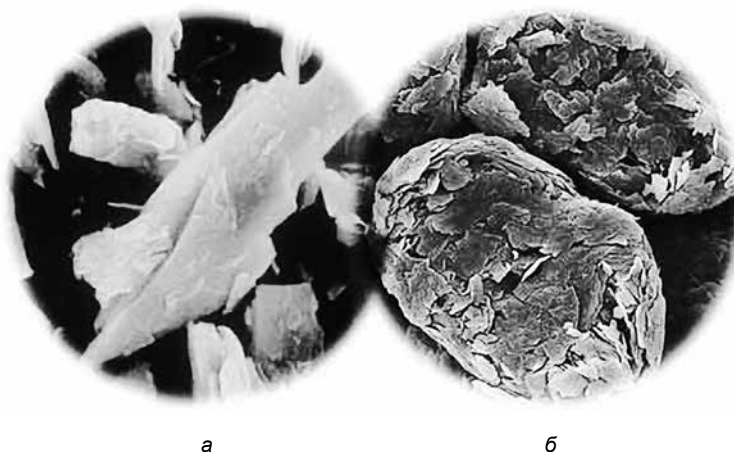


Рис. 1. Вид частиц серпентинового геомодификатора:
а – исходные, б – после трибодеструкции и коагуляции (увеличение 4000х)

Для объяснения механизма начала модификации поверхностей трибопары последние авторы используют также явление изоморфизма, т.е. замещение элементами друг друга в соединениях родственного состава (например, изовалентный изоморфизм иона Mg^{2+} радиусом 0,75Å к двухвалентному иону Fe^{2+} радиусом 0,79Å). При этом возможен переход ионов магния из разрушенной структуры серпентинов в железо поверхностей трибопары, что может служить дополнительным подтверждением активности РВС-процесса именно на железоуглеродных сплавах.

Изоморфизм необходимый, но не достаточный фактор образования прозрачного оранжево-золотистого (по данным опытных РВС-специалистов: гл. инж. ООО «РВД» В.Г. Рыжова и проф. каф. ЭМТП МГАУ В.А. Чечет), насыщенного углеродом РВС-покрытия, отличающегося от металлической основы повышенной твердостью и высокой прочностью сцепления за счет насыщения поверхности трения кислородом, привнесенным при дезинтеграции серпентина ($Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$). Несмотря на значительное содержание кислорода, как считают авторы этой версии, отсутствует характерная для оксидов ионная компонента межатомной связи, т.е. кислород соединяется с металлом подложки без окисления, т.е. с образованием только ковалентной связи.

В подтверждение этого д-ром техн. наук, проф. В.Ф. Пичугиным с сотрудниками в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина [7, 8] установлено наличие кислорода в трибопокрытии после работы медь- и алюминийсодержащих трибопрепаратов.

Интересны для сравнения проведенные здесь исследования изнашивания пар сталь-антифрикционный сплав по схеме колодка-ролик на модернизированной машине трения СМЦ-2 в масле И-40А и в глицерине с медь- и алюминийсодержащей добавками, а также испытания в подобных условиях на 4-х шариковой машине «Плент» (США).

Для анализа состава, строения и толщины антифрикционных пленок в зонах трения использованы весьма уникальные методики:

- рентгеноспектральный анализ на сканирующем микроскопе «Carl Zeiss Leo-430i» с рентгеноспектральным микроанализатором «Oxford Instruments» и энергодисперсионным детектором,
- рентгеноспектральный анализ на растровом электронном микроскопе с рентгеноспектральной приставкой «Камека»,
- электроннограммирование на приборе ЭР-110У41,
- послойная оже-спектроскопия на установке «Balzers» (Англия),
- послойная рентгенофотоэлектронная скопия, фотоэлектронная спектроскопия на спектрометре «Хьюлет-Паккард»,
- профилографирование поверхностей приборами «Тейлеронд», «Цензор» (Англия), профилографом-профилометром модели 170311 завода «Калибр».

Исследования образцов, изношенных с алюминийсодержащей добавкой, показали существенное повышение антифрикционных свойств и контактной выносливости образцов. А поверхность антифрикционной пленки представлена углеродом и кислородом с уменьшением их содержания вглубь от поверхности детали, алюминий во всем ее объеме – также в соединении с кислородом, железо на поверхности деталей – в окисленном (Fe_3O_4) и в металлическом виде.

Оже-спектроскопия показала, что толщина антифрикционных пленок на стальной поверхности 0,6-0,8 мкм, а в самом поверхностном слое (0,1 мкм) элементы антифрикционных сплавов отсутствуют. В толще пленки алюминий или медь – в соединении с кислородом, а самый верхний слой представлен связанным углеродом.

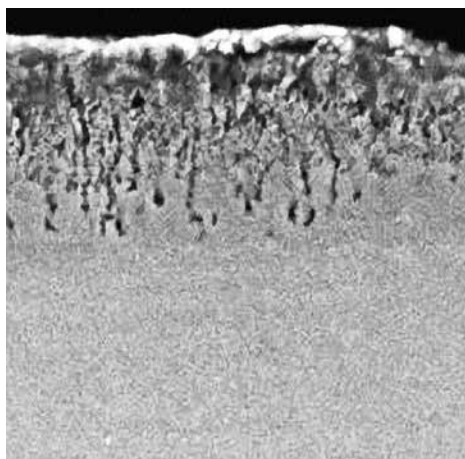


Рис. 2. Шлиф поперечного среза гильзы цилиндра дизеля китайского тепловоза TF-11 после трибообработки и пробега 150 тыс. км (увеличение 4000х); при внимательном взгляде просматривается граница между подложкой и поверхностным слоем

Все же имеется успешная 20-летняя практика РВС-технологии, а свидетельством образования геомодификаторами РВС-покрытия, как и по шлифам В.И. Тишаква (НТЦ «НВЦ», г. Чита), служит, например, микрофотография шлифа поперечного среза рабочей поверхности гильзы цилиндра дизеля китайского тепловоза TF-11 после его трибообработки российским (АРТ) геомодификатором и длительной работы (рис. 2, данные китайских исследований). На ней видна ортогональная направленность структур в начале формирования РВС-покрытия.

Несмотря на различие представленных авторами объяснений РВС-процессов, основными этапами работы серпентинов могут являться:

1. В первой фазе - мягкое абразивное действие исходных частиц серпентина на поверхности трения, очистка их от окисных пленок, непрочных структур и «подготовка» ювенильных поверхностей.

2. Разрушение частиц трибосоставов и образование ими активных пленочных структур силикатов и ионов магния; исходя из этого пионеры РВС-технологии считают, что приготовление серпентина в виде аморфных частиц размером до нескольких нанометров (при исходном размере в микрометровом диапазоне) и освобождение его от конституционной воды является отрицательным фактором.

3. Термохимические реакции между ювенильной поверхностью металла и трибосредой, где должно быть необходимое содержание продуктов деградации и конденсации полимерных углеводородов (сажи, смол...).

Условиями описанных процессов являются наличие: высокой локальной температуры, высокого удельного давления, твердых, относительно поверхностей трения, компонентов трибосоставов.

А когда авторы некоторых патентов на разнообразные геомодификаторы вводят в них еще и «активаторы, катализаторы, мягкие абразивы, ПАВ» и другое, якобы ускоряющее образование покрытий, то это не способствует правильному пониманию РВС-процессов.

Характерными многократно подтвержденными особенностями образования РВС-покрытий, служащими «ключом» к раскрытию их природы, являются **прозрачность тонкого слоя**, легко снимаемого с деталей в начале образования, **оранжево-золотистый цвет**, медленное и длительное наращивание, **маслофильность**, **повышенные твердость и электросопротивление (10-12 Ом/см)**, устойчивость во времени, **предпочтительное образование на железоуглеродных сплавах**, возможность **образования из минеральной суспензии виброударной обработкой** деталей, **пропорциональность толщины удельному давлению** в трибопаре, обязательное наличие в трибопрепарате гидросиликатов магния, железа, никеля, желательное - углерода, отсутствие хрома. Естественно, что основным достоинством РВС-трибопрепаратов является их восстанавливающий эффект.

Некоторая несопоставимость изложенных гипотез свидетельствует о малой изученности, сложности и многогранности процессов образования РВС-покрытий. При надлежащей температуре и давлении, являющихся решающими факторами в формировании защитных структур при использовании геомодификаторов трения, в образовании покрытий участвуют не только трибосоставы, но и ювенильные поверхности металлов, переменная трибосреда со смазками, вода и водород. В начале применения РВС-технологий при недостатке исследований авторы препаратов учитывали один или несколько факторов, а с разнообразием исследований составов, трибосреды и трибозффектов возникло несколько гипотез, углубивших понимание действия геомодификаторов, внесенных в зону контакта поверхностей в присутствии третьего тела - смазки.

Уникальными свойствами инициировать процессы карбонизации и пиролиза и образовывать углеродные алмазоподобные пленки могут обладать кроме серпентинов и другие силикаты (диопсид, энстатит, хлориты, кварцит) разных месторождений, имеющие гидрофильность и способность связывать углерод и углеродсодержащие структуры из воздуха, растворов, масел и смазок. Но эффекты от их применения исследованы мало.

В отличие от серпентинов наноалмазные трибопрепараты работают, скорее, по адсорбционным механизмам [9] и дают покрытие черного (грязного) цвета, но рекордной толщины 0,09 – 0,65 мм, что делает их более перспективными в парах трения, в которых зазоры и износ достаточно большие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В целом, на основании большинства гипотез, можно предположить, что в начальных фазах действия серпентиновых геомодификаторов происходит очистка поверхностей трения от окисных пленок и непрочных структур абразивным и кавитационным воздействием минералов, их последовательное разрушение и активизация компонентов частиц. Лишь после этого происходят процессы формирования защитных структур на поверхностях трения. При различном сочетании минералов, добавок к ним неорганических и органических веществ на разных поверхностях трения происходит формирование немного различающихся по своим физико-химическим свойствам структур вплоть до образования алмазоподобной углеродной пленки.

Отсюда вытекает важный практический вывод: для эффективного применения РВС-составов необходимо точное понимание совокупности условий и последующих явлений в трибопаре (в обрабатываемом узле), точный подбор состава трибопрепарата и трибосреды (масел и смазок), а также обеспечение для трибопар оптимальных нагрузочно-температурных режимов обработки.

Литература

1. Дунаев А.В. Состояние применения нетрадиционной триботехники для безремонтного восстановления сопряжений трения узлов и агрегатов машин и оборудования. Сборник научных трудов. Семинар «Современные технологии в горном машиностроении». М., МГГУ, 2012. С. 154-163.
2. Зуев В.В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты). С.-Пб: Наука, 2005, 400 с.
3. Телух Д.М., Кузьмин В.П., Усачев В.В. Введение в проблему использования природных слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях. Интернет-журнал «Трение, износ, смазка», 2009, № 3.
4. А.Д. Дубинин. Энергетика трения и износа деталей. Киев, Машгиз (Южное отделение), 1963. С. 55.

5. Tribology of Diamond-Like Carbon Films. Fundamentals and Applications. Christophe Donnet, Ali Erdemir Editors. (Christophe Donnet, University Institute of France and University Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien. UMR 5513 18 avenue; Professeur Benoît Laurus 42000 Saint-Etienne, France. Donnet@univ-st-etienne.fr.

6. Сокол С.А. Дунаев А.В. Формирование катализатором «Evo[®]lution» в зонах трения алмазоподобных углеродных пленок. Сборник трудов Новочеркасск, 2012. С. 154 -159.

7. Додонова Д.А., Пичугин В.Ф., Лаптев Д.В. Влияние алюминийсодержащей смазочной композиции на процессы трения и изнашивания металлических пар. Труды ГОСНИТИ, т. 108. С. 245-249.

8. Пичугин В.Ф., Щербинин В.М. Элементный состав, строение и толщина защитных пленок на поверхностях трения пары антифрикционный сплав – сталь в глицерине. Там же. С. 250-253.

9. Селютин Г.Е. и др. Применение модифицированных наноалмазов для увеличения ресурса узлов трения. Труды ГОСНИТИ, т. 107, UDC 629.3.014.2:005.934.4

UDC 629.3.014.2:005.934.4

THE HYPOTHESES OF MECHANISMS OF ACTION REPAIR SERPENTINE TRIBOPRAPARATOV

**AV Dunaev¹, Ph.D., V. Zuev², D.Sc., Academy of Natural Sciences,
DV Vasilkov², Ph.D., Y. Lavrov², Ph.D., OG Pavlov²,
PhD, IF Pustovoy², SA Sokol³
1 - Moscow, 2 - St. Petersburg, 3 - Pyatigorsk**

Summary. *The basic version of the formation mechanism of the protective structure on the friction surfaces, compensating their deterioration when administered in tribosredu serpentine ultrafine powders, chosen as the most probable.*

Keywords: *serpentine, friction, pressure, temperature, tribodestruktsiya, cover, diamond-like carbon film.*