

УДК 631.3.004.67

UDC 631.3.004.67

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ОБРАБОТКИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМИ
СОСТАВАМИ (PBC)**

**PHYSICAL BASIS OF INNOVATIVE
TECHNOLOGIES PROCESSING MACHINES
AND MECHANISMS REFURBISHMENT
COMPOSITION (PBC)**

Тарасенко Борис Фёдорович
к.т.н., доцент

Tarasenko Boris Fedorovich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Шапиро Евгений Александрович
к.т.н., доцент
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
аграрный университет», Краснодар, Россия*

Shapiro Evgeniy Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Представлены: физические основы технологии
обработки машин и механизмов ремонтно-
восстановительными составами. Рассмотрена,
прежде всего, физическая картина процесса
трения на примере пары сталь – чугун

In the article we have submitted physical fundamentals
of processing machinery and equipment repair and
recovery formulations; above all, the physical picture
of the process of friction on the example of a pair of
steel – iron is given

Ключевые слова: РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ СОСТАВ,
ТЕХНОЛОГИЯ, МАШИНЫ, МЕХАНИЗМЫ,
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Keywords: REPAIR AND REHABILITATION OF
TECHNOLOGY, MACHINES, EQUIPMENT,
PHYSICAL FUNDAMENTALS

Введение

По мнению ведущих ученых страны, основными направлениями дальнейшего совершенствования и развития восстановления и упрочнения деталей следует считать разработку новых и совершенствование действующих технологических процессов восстановления изношенных поверхностей деталей, обеспечивающих надежную сцепляемость покрытия с основным металлом [5, 6, 7].

Ремонтно-восстановительные технологии «PBC-технологии» (патент РФ № 2266979) – это инновационные технологии восстановления изношенных поверхностей деталей без разборки машин в режиме рядовой эксплуатации [6]. Для достижения аналогичного эффекта в новых машинах традиционно используются дорогостоящие, высококачественные стали, повышаются классы обработки поверхностей изнашивания, уменьшаются допуски, а в ряде случаев, как, например, в спортивных двигателях, детали и узлы индивидуально подбираются друг к другу. Несмотря на все эти

меры, детали все равно изнашиваются по причине неизбежного контакта металлов при трении.

Накоплен большой опыт обработки деталей машин и механизмов «РВС-технологией» практически во всех отраслях промышленности и транспорта, в том числе [7]:

- на компрессорных и газоперекачивающих станциях;
- на портовом оборудовании и оборудовании судов;
- на горно-обогатительных комбинатах;
- на железнодорожном транспорте;
- на промышленном оборудовании;
- на оборудовании энергосистем;
- на электро - и автотранспорте.

Данная технология позволяет заданно управлять трением, износом и восстановлением изношенных поверхностей в узлах трения, создать эффективный технологический процесс модификации железосодержащих поверхностей трения для узлов и механизмов, восстановить первоначальную геометрию поверхностей узлов трения, оптимизировать процессы трения и восстановления с минимизированным расходом компонентов и с составом, удовлетворяющим санитарно-гигиеническим нормам эксплуатации машин и механизмов, не взаимодействующих с углеводородными материалами, а также повысить износостойкость модифицируемых поверхностей в целом. В конечном итоге это приводит к увеличению долговечности трущихся металлических поверхностей в двигателях внутреннего сгорания, агрегатах, трансмиссиях, ходовой части транспортных средств и др. машин.

1. Теории трения и изнашивания, применяемые при анализе процессов изнашивания и математического описания «РВС-технологии»

Изнашивание – это процесс постепенного изменения размеров тела при трении, проявляющийся в отделении с поверхности трения материала и (или) его остаточной деформации. Изнашивание может сопровождаться процессами коррозии и является сложным физико-химическим процессом. Его изучению посвящена обширная как отечественная, так и зарубежная литература.

Широко известны работы российских и зарубежных ученых: А.К. Зайцева, Д.В. Кузнецова, И.В. Крагельского, Б.И. Костецкого, А.С. Пронникова, М.М. Хрущова, Д.Н. Гаркунова, Ф. Боудена и Д. Тейбора (Англия), Г. Флайшера (ФРГ), Мак-Грегора, Э. Рабиновича (США) и др. Эти исследования посвящены раскрытию механизма износа материалов и тех закономерностей, которые определяют его протекание.

Для анализа сложных физико-химических процессов динамики изнашивания и математического описания «РВС-технологии» рационально использовать три основные теории трения и изнашивания:

- механическую теорию трения;
- атомно-молекулярную теорию трения;
- молекулярно-механическую теорию трения.

Механическая теория трения разработана Г. Амонтоном, И. Деллагиром, А. Параном, Л. Эйлером, Д. Лесли, Л. Гюмбелом и др.

Согласно этой теории взаимодействие поверхностей при трении объясняется результатом механического зацепления или внедрения шероховатостей трущихся поверхностей, и сила трения определяется по уравнению:

$$F = f N, \quad (1)$$

где F – сила трения, Н; f – коэффициент трения; N – нормальная сила, Н.

Для приближенных расчетов эта теория может быть использована с целью анализа процессов изнашивания и восстановления с помощью «РВС-технологии».

Более точным для сухого трения скольжения является закон трения Б.В. Дерягина, соответствующий моменту начала движения [1]:

$$F_{ск} = \mu(N + p_o S), \quad (2)$$

где $F_{ск}$ – сила трения скольжения, Н; μ – истинный коэффициент трения; p_o – добавочное давление, вызываемое силами ионно-атомного притяжения (сцепления); S – общая площадь всех точек непосредственного контакта между телами.

В процессе исследований Б.В. Дерягин пришел к выводу, что фактическая площадь касания любой поверхности детали зависит не только от величины действующей на тело нагрузки, но и от технологии изготовления и обработки его поверхности.

К этому следует добавить, что фактическая площадь касания любой поверхности детали зависит и от технологии восстановления изношенных поверхностей деталей, каковой является «РВС-технология».

Ш. Кулон впервые указал на двойственную природу трения, которую выразил законом:

$$F = A + fN, \quad (3)$$

где F – сила трения, Н; A – величина, учитывающая сопротивление от сцепляемости поверхностей трения.

Сила сухого трения качения шара или цилиндра радиусом r по плоской поверхности по закону кулона равна:

$$F_{кач} = f_k \frac{P}{r}, \quad (4)$$

где $F_{\text{кач}}$ – сила сухого трения качения, Н; f_k – коэффициент трения качения.

Фундаментальный вклад в теорию трения качения сделан Тейбором, который вывел расчетное соотношение для случая качения жесткого цилиндра радиусом r по деформируемой плоскости:

$$f_k = a \frac{4}{3p} \sqrt{\frac{q(1-n^2)}{prE}}, \quad (5)$$

где α, E, ν – коэффициент гистерезисных потерь, модуль упругости и коэффициент Пуассона деформируемой плоскости, соответственно; q – нагрузка на единицу ширины цилиндра.

Атомно-молекулярная теория трения разработана И. Дезагюлье, В. Гарди, Г. Томлинсоном, Ф. Боуденом, Д. Тейбором, В.Д. Кузнецовым, Э. Рабиновичем и др.; наиболее развита Б.В. Дерягиным.

Согласно этой теории, сила трения является следствием молекулярного притяжения между трущимися поверхностями и определяется по формуле:

$$F = f S_{\phi} (P_o + P), \quad (6)$$

где S_{ϕ} – площадь фактического контакта, м²; P_o – удельная сила молекулярного взаимодействия, Н/м², или Па; P – удельное давление, Н/м², или Па.

Молекулярно-механическая теория трения разработана Ш. Кулоном, Г. Эрнестом, М. Мерченотом, Г.И. Епифановым и др., наиболее полно развита И.В. Крагельским. Согласно этой теории, силу трения определяют по формуле:

$$F = \frac{\eta S v}{h}, \quad (7)$$

где η – абсолютная вязкость масла, м/с²; v – относительная скорость перемещения трущихся поверхностей, м/с; S – площадь поверхностей,

скользящих одна относительно другой, m^2 ; h – толщина масляного слоя, мм.

Наука о внешнем трении – пограничная область знаний. Ее содержание является синтезом соответствующих разделов механики, физики и химии.

Сила внешнего трения твердых тел имеет тройственную механо-физико-химическую природу, и ее можно определить по формуле:

$$F = v_1 F_M + v_2 F_D + v_3 F_A, \quad (8)$$

где F – суммарная сила трения; F_M – составляющая механического взаимодействия шероховатостей поверхностей трения; F_D – составляющая, вызываемая деформацией поверхностного слоя; F_A – составляющая атомарно-молекулярного взаимодействия; v_1 , v_2 , v_3 – коэффициенты, учитывающие действие сил химического происхождения.

В этой формуле первые две составляющие силы трения относятся к механической природе, третья учитывает физическую природу силы трения, а коэффициенты – химическую.

Для анализа процесса «наращивания» металла при «РВС-технологии» и его математического описания можно использовать результаты исследования И.В. Крагельского [2]. По его мнению, в процессах трения и изнашивания следует различать три последовательных момента: образование фрикционной связи при взаимодействии поверхностей; существование фрикционной связи, обусловленной изменениями, происходящими на соприкасающихся поверхностях в процессе трения под воздействием деформации и температуры; нарушение фрикционной связи и разрушение поверхностей.

И.В. Крагельский определил основные виды нарушения фрикционных связей: первого, второго, третьего, четвертого и пятого рода. Возникновение каждого из них зависит от величины молекулярного

взаимодействия (адгезии) и относительной глубины внедрения h/R (h – глубина внедрения; R – радиус внедряющейся неровности).

С целью определения зависимости между глубиной внедрения и контактным давлением q И.В. Крагельский путем анализа материалов исследования Б.М. Левина [4] установил приближенное соотношение

$$h = 2,4R_o(q/E)^2, \quad (9)$$

где h – глубина внедрения; R_o – радиус выступов; E – модуль упругости материалов.

Для определения критической деформации (глубина внедрения h) он предложил уравнение следующего вида:

$$h = 240 \frac{s_s^2}{E^2} R_o. \quad (10)$$

Таким образом, сложные явления трения и восстановления изношенных поверхностей деталей с помощью «РВС-технологии» следует рассматривать с учетом механических, физических и химических процессов, происходящих на атомно-молекулярном уровне в поверхностных слоях деталей при нагружении их трением.

2. Методы и средства изучения и определения износа деталей машин

За последнее время выполнено большое число исследований, проведенных в эксплуатационных условиях и при стендовых испытаниях по изучению износа различных машин и их механизмов. При этом, как правило, выявлялись и исследовались те узлы трения, которые оказывают наибольшее влияние на работоспособность машины и являются специфичными для данной конструкции, изучались факторы,

определяющие интенсивность изнашивания, разрабатывались мероприятия по повышению износостойкости основных сопряжений машины. В ряде случаев выявлялись аналитические связи между износом сопряжений и выходными параметрами машины. Любая машина всегда имеет широкую номенклатуру узлов, работающих в различных условиях и по-разному влияющих на ее выходные параметры. Однотипные и стандартные узлы часто применяются в различных машинах, и особенности машин могут и не оказывать решающего влияния на их работоспособность. Однако в большинстве случаев необходимо исследовать износостойкость машины в целом, не ограничиваясь исследованием износа ее отдельных элементов и узлов. Обычно изучение износа всей машины или ее систем позволяет получить информацию о влиянии на ее работоспособность таких взаимосвязей, которые трудно учесть при изолированном или безотносительном к машине изучении износа узлов трения. При исследовании износа всей машины необходимо:

- 1) оценить процесс формирования выходных параметров машины при износе отдельных элементов;
- 2) выявить роль, которую играют отдельные узлы трения и выделить главные сопряжения;
- 3) установить связь износа одних элементов с работоспособностью других;
- 4) оценить влияние условий эксплуатации на характер и интенсивность изнашивания.

Исследование и анализ износа машины в целом является завершающим этапом для построения модели ее надежности.

Приведем примеры и краткую характеристику специфики исследования и разработки «РВС-технологии».

На сегодня специалистами по «РВС-технологии» разработаны следующие методики [3]:

- 1) защиты от бокового износа железнодорожных колес и рельсов;
- 2) восстановления двигателей внутреннего сгорания всех типов;
- 3) восстановления подшипников качения и скольжения;
- 4) восстановления открытых шестеренчатых передач;
- 5) восстановления деталей редукторов всех типов и гидравлических систем.

В процессе восстановления на поверхности пар трения деталей в зонах контакта образуется модифицированный слой, представляющий собой монокристалл, выращенный на кристаллической решетке поверхностного слоя самого металла. Одновременно в результате диффузии материалов РВС с поверхности в глубину металла улучшается структура его кристаллической решетки и, тем самым, упрочняется приповерхностный слой самого металла.

Термодинамические процессы, происходящие в зонах трения в присутствии РВС, способствуют образованию более толстого модифицированного слоя в местах наибольшей выработки металла. Таким образом, в процессе ремонта постепенно стабилизируются и приближаются к оптимальной величине зазоры между трущимися деталями по всей площади пятен контакта.

«РВС-технология» открыла механизм управления градиентом плотности возникающих дислокаций трущихся поверхностей и как следствие – управление созданием поверхностного изоморфа (модифицированного поверхностного слоя). Обработка узлов и механизмов противоизносными антифрикционными ремонтно-восстановительными составами (РВС, ТУ 2111-003-29034600-2003) дает возможность избирательной компенсации износа мест трения и контакта деталей за счет образования в этих местах нового модифицированного поверхностного слоя в отличие от обычных присадок к маслам (см. табл.).

Таблица - РВС-технология и присадки к маслам

Характеристики и эффекты	РВС-технология	Присадки
Упрочнение поверхности трения	В 1,7...2,0 раза	Не происходит
Длительность эффекта выравнивания микрорельефа	Свыше 50 000 км	5 000...10 000 км
Компенсация износа (выравнивание микрорельефа)	До получения оптимальных зазоров	Не происходит
Вибрация и шум	Снижение	Снижение
Антикоррозийная стойкость	Высокая	Низкая
Требуемая периодичность обработки	Однократно	При каждой смене масла
Совместимость с применяемыми маслами	Совместимы со всеми маслами	Требуется тщательного подбора
Коэффициент трения	0,003...0,007	Не менее 0,012
Увеличение КПД двигателя	На 5...10 %	Не дает
Результат систематического применения	Не требуются плановые ремонты, запчасти	Закупориваются масляные каналы

Необходимо отметить, что при трении деталей, покрытых модифицированным слоем, значительно снижаются требования к качеству применяемых масел. Масло не должно выполнять функцию эффективного третьего тела, а лишь функцию теплоотвода, аналогично тосолу. Таким образом, предлагается технология, позволяющая провести полный капитальный ремонт изношенного механизма с последующей обкаткой, со значительным увеличением его эксплуатационного ресурса, повышением мощности и КПД, причем дешевле и технологически проще обычного ремонта.

При использовании «РВС-технологии» были получены уникальные результаты по снижению износа и полной компенсации износа трущихся поверхностей. При этом процесс протекал интенсивно и гарантированно при многочисленных повторях испытаний образцов. Результат был достигнут там, где другие препараты вовсе не работали. Износ был компенсирован на парах трения (чугун – бронза, чугун – чугун, дюраль – сталь, дюраль – чугун, бронза – алюминий).

В процессе создания и испытаний «РВС-технологии» были проведены работы во многих отраслях промышленности. Накоплен богатый опыт и разработаны необходимые методики. Представляет интерес также опыт использования «РВС-технологий» в агропромышленном комплексе.

3. Физическая картина процесса трения на примере пары сталь – чугун

Рассмотрим, прежде всего, физическую картину процесса трения на примере пары сталь – чугун путем анализа материалов исследования ЗАО «НПК Руспромремонт» [3].

Даже очень хорошо подготовленная поверхность стали при детальном рассмотрении под микроскопом имеет вид вспаханного поля с чередой пиков, кратеров и редких равнин между ними (рис. 1, а).

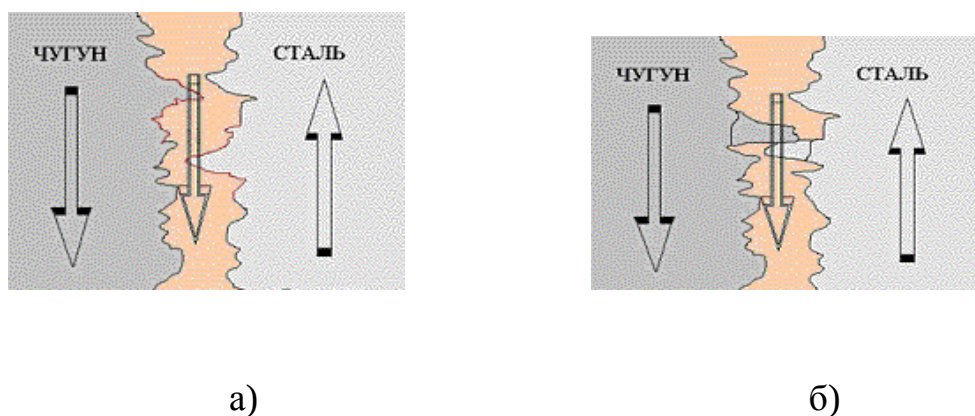


Рисунок 1. Физическая картина процесса трения

В процессе движения этих поверхностей друг относительно друга (рис. 1, б) пики приходят в соприкосновение друг с другом, образуя на обеих поверхностях по микрократеру. (рис. 2).

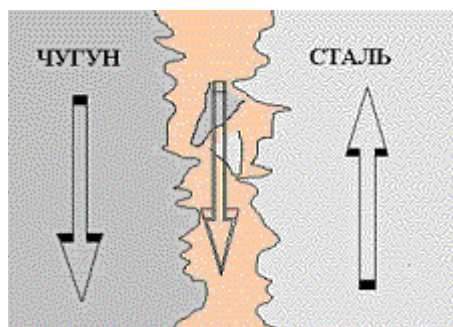


Рисунок 2. Пара трения «сталь – чугун»

В каждый последующий момент работы будут соприкасаться и стираться другие выступы микрорельефа, добавляя в масло все новые и новые частицы металла, увеличивая зазоры. Классический способ борьбы с трением - использование «масляного клина» в зонах трения – приводит к существенному уменьшению вышеописанных эффектов, и до недавнего времени задача увеличения моторесурса двигателя решалась путем улучшения свойств применяемых масел, а также специальной обработкой металлических поверхностей.

В последние годы появились многочисленные присадки, как улучшающие свойства масел, так и выравнивающие дефекты микрорельефа трущихся поверхностей. Механизмы работы присадок кратко рассмотрим на примере (рис. 3).

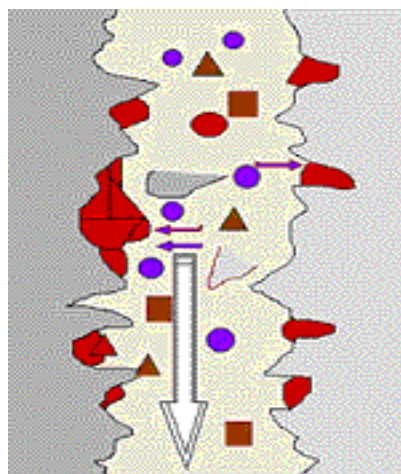


Рисунок 3. Присадки к маслам

На рисунке 3 та же пара трения сталь – чугун» показана крупным планом. В состав данной присадки входят антиокислительные, антизадирные и заполняющие элементы. В процессе трения крупные кратеры на поверхностях металла заполняются и частично выровненные поверхности как на шариках антизадирных элементов проскальзывают друг по другу. Основной недостаток данной технологии заключается в том, что в местах трения все время необходимо наличие присадки, причем достаточной концентрации. Постоянное поддержание значительной концентрации присадок в системе подачи масла приводит к тому, что в процессе работы двигателя продукты износа присадок постепенно засоряют узкие места масляных каналов, давление снижается и т.д. Кроме того, нужно понимать, что применение присадок лишь притормаживает процесс износа пар трения, по существу, не восстанавливая технических характеристик агрегата.

В соответствии с технологией ремонтно-восстановительные составы (РВС) добавляются в носитель, в данном случае - масло, причем не новое, а уже имеющее в своем составе продукты трения. Если условно разделить протекающие процессы на этапы, то можно представить себе картину следующим образом. За счет высоких абразивных свойств РВС в местах контакта происходит суперфинишная обработка поверхностей трения - очистка нагаров, окислов, деструктурированного масла. В местах локального контакта в микрообъемах возникают высокие температуры (до 1000⁰С и более), что приводит к инициации микрометаллургических процессов - микросхватывания, микросваривания и шаржирования. В результате происходит «приплавление» частиц РВС к кристаллической решетке поверхностного слоя стали (рис. 4, а).

Практически одновременно с этим происходит «нагартовка» несработанных частиц РВС, частиц металла и других продуктов трения в

углубления микрорельефа (см. рис. 4, а). Поскольку элементы РВС работают как катализаторы, то в местах «нагартовки» создаются условия для активного протекания окислительно-восстановительных процессов. В результате этих реакций происходит образование модифицированного слоя металла. Одновременно в пограничной области происходит образование новых кристаллов, наращенных на кристаллической решетке металла. Они также показаны на рисунке 4, б. В дальнейшем эти кристаллы ориентируются вдоль поля и «срастаются», образуя на всей поверхности пятна контакта непрерывный ряд твердых растворов или монокристаллы (рис. 4, в).

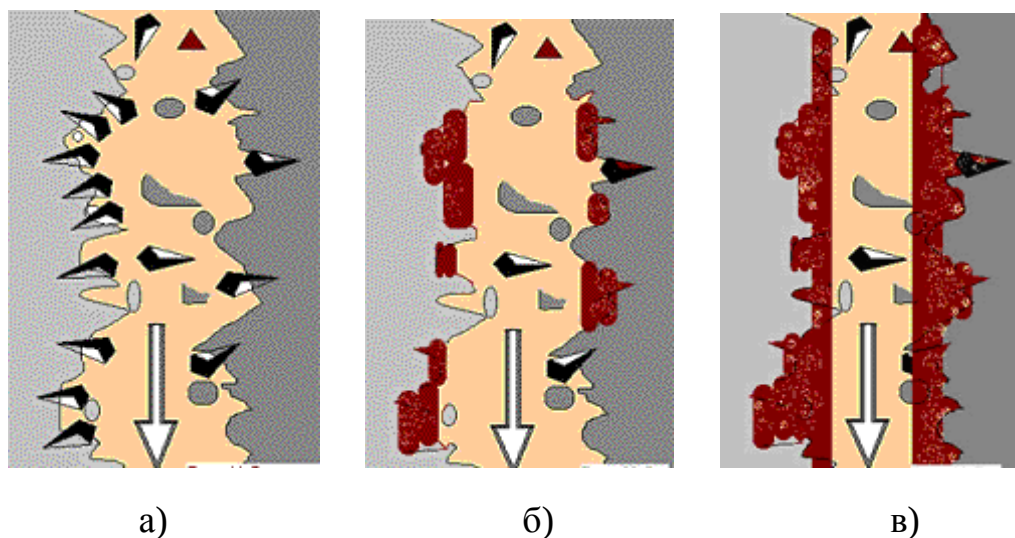


Рисунок 4. Процесс образования модифицированного слоя на поверхностях пар трения

Все вышеуказанные процессы на самом деле протекают практически одновременно и имеют место до тех пор, пока в носителе не иссякнет добавленный строительный материал РВС или в системе не наступит равновесие: все зазоры будут выбраны до оптимальной величины, определяемой термодинамическими процессами, протекающими в каждой точке локального контакта данной системы. В конечном счете, оптимизация зазоров в местах контакта определяется конструктивными

особенностями самой системы и всего агрегата в целом. Теперь в местах контакта вместо трения металл – металл будет метал-модифицированный слой, а эта пара имеет существенно меньший коэффициент трения и характеризуется гораздо большей износоустойчивостью.

Ярким примером преимущества данной технологии служит процесс «холодного» запуска двигателя внутреннего сгорания, когда полученные покрытия уже работают, а масла и присадки к ним – еще нет. По некоторым оценкам, трение при «холодном» запуске создает от 50 до 80 % износа двигателя. Следовательно, изменение режимов трения при запуске двигателя – это способ существенного повышения его ресурса.

Кроме того, после обработки РВС существенно меняется роль масла – оно уже выполняет не роль эффективного третьего тела в паре трения, а функцию теплоотвода. Поэтому в ряде случаев, когда не слишком сильно нарушаются температурные режимы, агрегаты могут работать вообще без масла, что, как известно, в обычном случае очень быстро приводит к катастрофическим последствиям.

Основные свойства и показатели получаемого модифицированного слоя [3]:

- 1) коэффициент линейного термического расширения – 13,6...14,2;
- 2) коэффициент трения - около 0,007;
- 3) микротвердость поверхностей – 690...710 НВ;
- 4) ударная прочность – 50 кг/мм²;
- 5) коррозионная стойкость - высокая;
- 6) износостойкость - повышенная.

Описание процесса образования металлокерамического защитного слоя (МКЗС) на поверхностях трения и контакта деталей механизмов

Ремонтно-восстановительные составы (РВС) - это мелкодисперсная, многокомпонентная смесь минералов, добавок и катализаторов.

При обработке механизмов, в зависимости от их конструкции и условий эксплуатации, РВС вводятся в штатную систему смазки либо наносятся непосредственно на поверхности обрабатываемых деталей. Минеральные компоненты РВС в нефтепродуктах не растворяются, в химические реакции с ними не вступают, вязкость не меняют, экологически безвредны.

Частицы РВС, попадая на поверхности трения и контакта работающих механизмов, модифицируют поверхности пар трения. Для упрощения описания процесса образования МКЗС условно разделим его на этапы:

- измельчение частиц РВС выступами микрорельефов контактных поверхностей сопряженных деталей;
- очистка микрорельефа пятен контакта сопряженных деталей;
- плотная «нагартовка» частиц РВС в углубления микрорельефа контактируемых поверхностей сопряженных деталей;
- образование МКЗС - прохождение комплекса физико-химических реакций и образование новых кристаллических материалов на поверхностях деталей в пятнах контактов.

4. Анализ исходного состояния процесса образования металлокерамического защитного слоя

Как уже отмечалось, поверхность трения и контакта сопряженных деталей под увеличением представляет собой выступы и углубления, заполненные продуктами износа и разложения масел и присадок (рис. 5).

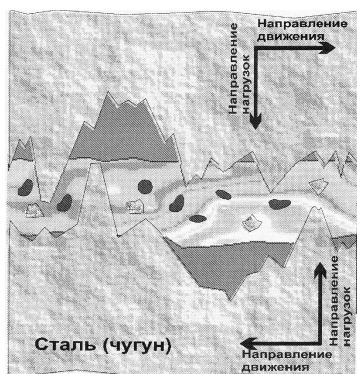


Рисунок 5. Исходное состояние пары трения

В работающем механизме под воздействием нагрузок происходит значительное сближение поверхностей пар трения. При этом в местах контакта наблюдается разрыв защитных пленок, создаваемых маслом и присадками, и слом элементов микрорельефа поверхностей трения. В местах слома выступов происходят микровспышки, разрушающие масла и присадки. Эти процессы приводят к загрязнению масла и микрорельефа поверхностей трения.

При очередном цикле трения и контакта будет происходить взаимодействие микрорельефа поверхностей, и дополнительные порции загрязнителей попадут в масло (рис. 6).

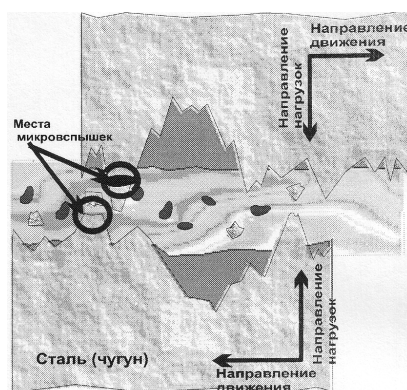


Рисунок 6. Очередной цикл трения

5. Анализ изменения параметров частиц РВС при трении поверхностей сопряженных деталей

Выступы микрорельефа поверхностей сопряженных деталей размалывают частицы РВС, попавшие в зону трения (рис. 7).



Рисунок 7. Выступы микрорельефа поверхностей трения

При этом происходит интенсификация процессов микросваривания, т.к. в местах сломов пиков микрорельефа выделяется большое количество энергии, сопровождаемое повышением локальных температур.

В локальных зонах сломов при возникающих больших температурах (900–1200⁰С) в присутствии частиц РВС в результате микрометаллургических процессов почти мгновенно протекают реакции замещения с образованием новых кристаллических структур.

Так, в местах выступов появляются первые пятна МКЗС (рис. 8). Толщина этих пятен относительно мала, т. к. первоначально срабатывает незначительное количество частиц РВС из-за ограниченности их числа в зоне трения. В процессе домола частиц РВС происходит также и механическое удаление загрязнителей из углублений микрорельефа поверхностей.



Рисунок 8. Первые пятна МКЗС

6. Анализ процесса очистки частицами РВС микрорельефа от загрязнителей

Особая структура микрочастиц РВС и используемые добавки способствуют более качественной очистке микрорельефа поверхностей от продуктов износа и разложения смазок, чем это достигается современными моющими средствами, которые смывают загрязнения, но не вычищают микрорельеф.

При очистке микрорельефа поверхностей в масло выбрасывается большое количество ранее утрамбованных и притертых загрязнителей. Чрезвычайно большое их количество может значительно снизить эффективность операции плотной «нагартовки» частиц РВС. Поэтому необходимо контролировать состояние масла и в случае его сильного загрязнения поменять.

Микрочастицы РВС способны очистить микрорельеф практически от всех загрязнителей. Если очистка идет нормально, то уже через час приработки РВС можно зафиксировать изменения в параметрах работы восстанавливаемого механизма.

7. Анализ процесса «нагартовки» измененных частиц РВС в углубления микрорельефа контактируемых поверхностей сопряженных деталей

Важным моментом, который обеспечивается особыми свойствами микрочастиц РВС, является способность к ориентации в слабомагнитных полях в направлении наименьшего механического сопротивления.

В каждой точке поверхности трения электромагнитные микрополя выстраивают микрочастицы РВС в определенном порядке. Спаянность РВС обеспечивает восстановление сил межкристаллического взаимодействия частиц. Выступы микрорельефа поверхностей трения при контакте еще и утрамбовывают частицы в микроуглубления (рис. 9).

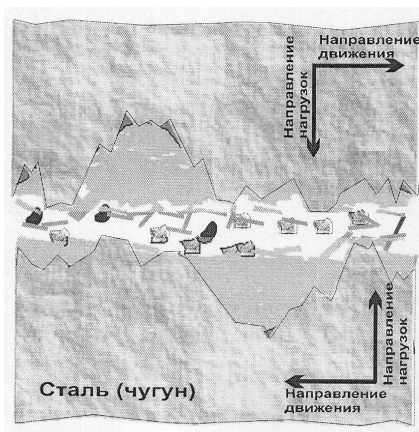


Рисунок 9. Приработка РВС

Всё это вместе приводит к тому, что «нагартовка» РВС становится настолько плотной, что по своей твердости сравнима с твердостью самого металла, на котором происходит приработка РВС.

8 Анализ протекания реакции замещения с образованием новых кристаллов МКЗС

В результате протекания вышеописанных процессов реализуется более эффективная защита пар трения от износа, чем это обеспечивают штатные смазки и присадки. При этом «сглаживается» микрорельеф и

снижается контактное тепловыделение на поверхностях трения, и уже более эффективно работает несмотря, что загрязненный масляный клин.

В результате плотной «нагартовки» РВС обеспечивается необходимый контакт его микрочастиц с металлом поверхностного слоя. Присутствующие в РВС катализаторы в процессе трения инициируют физико-химические реакции преобразования поверхностного слоя металла. При этом образуются новые структуры, имеющие с металлом кристаллический каркас с более объемной кристаллической решеткой, что способствует компенсации износа (рис. 10–11).

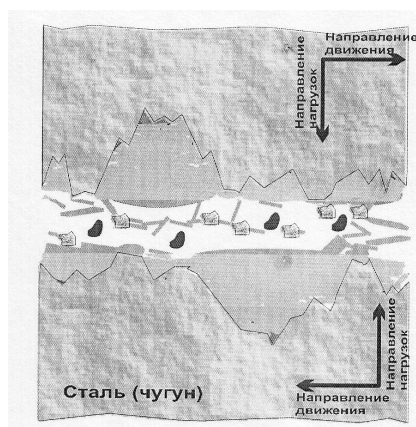


Рисунок 10. Новые структуры РВС

Образующийся таким образом МКЗС представляет собой монокристалл, что способствует значительному выравниванию микрорельефа в пятнах контактов поверхностей трения.

Толщина МКЗС пропорциональна количеству частиц РВС, «нагартованных» в углубления микрорельефа поверхностей, и энергии, выделяемой при трении и контакте.

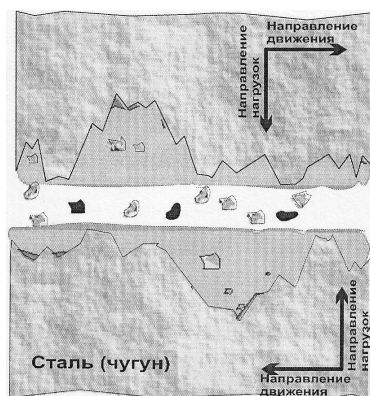


Рисунок 11. Компенсация износа пар трения

При этом толщина слоя МКЗС регулируется самой системой трения – в процессе образования МКЗС уменьшаются зазоры между поверхностями в пятнах их контактов, и сглаживается их микрорельеф, это приводит к снижению выделения энергии контакта (трения), к замедлению и в итоге – прекращению реакций замещения. В итоге дальнейший рост МКЗС прекращается (МКЗС не образуется на поверхностях, где трение отсутствует).

Так, за счёт новообразованного МКЗС происходят выравнивание поверхностей трения деталей машин и оптимизация зазоров в сопряжениях.

Полученный МКЗС:

- имеет общий кристаллический каркас с металлом, на котором он образовался и поэтому обладает значительно большей устойчивостью, чем хром, никель и др.;
- имеет коэффициент линейного термического расширения, сравнимый со сталью, на которой он образовался, т. е. не скалывается и не отслаивается при нагреве – охлаждении поверхностей;
- обладает повышенной микротвердостью и упругостью;
- имеет высокий класс шероховатости, как следствие – низкий коэффициент сухого трения;

- обладает диэлектрическими, антикоррозионными и термостойкими свойствами;
- его можно восстанавливать по мере изнашивания, проводя дополнительные РВС-обработки.

Частицы РВС, не вступившие в реакцию замещения, адсорбируют атомарный водород из дислокаций металла у поверхности для дальнейшего своего морфологического изменения. Тем самым предотвращается водородное растрескивание поверхностей трения деталей. На сегодняшний день этот способ предотвращения водородного изнашивания несравненно дешевле традиционных способов.

Данное изобретение успешно применяется при «безразборном восстановлении» практически всех типов пар трения при обслуживании механизмов машин во всех отраслях промышленности, энергетики, транспорта, сельском хозяйстве.

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие *выводы*.

Важнейшим условием применения «РВС-технологии» является научно обоснованная теория, роль которой существенно возрастает в начальный период ее формирования и перехода к устойчивому развитию.

Для анализа сложных физико-химических процессов динамики изнашивания и математического описания «РВС-технологии» рационально использовать три основные теории трения и изнашивания:

- механическую теорию трения;
- атомно-молекулярную теорию трения;
- молекулярно-механическую теорию трения.

Сложные явления трения и восстановления изношенных поверхностей деталей с помощью «РВС-технологии» следует

рассматривать с учетом механических, физических и химических процессов, происходящих на атомно-молекулярном уровне в поверхностных слоях деталей при нагружении их трением.

«РВС-технологии» могут быть использованы при восстановлении работоспособности сельскохозяйственной техники без вывода ее из сферы эксплуатации.

Список литературы

- 1 Дерягин Б.В. Что такое трение. – М.: АН СССР, 1963. – 176 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Краткое представление «РВС-технологии» / ЗАО «НПК Русспромремонт». Спб., 2009. - 6 с.
4. *Левин Б.М.* Контактный метод измерения микрогеометрии и поверхности. Основы метода и оптические профилограммы. – М.: Машгиз, 1962. – 112 с.
5. Технологии восстановления и упрочнения деталей машин / КГАУ, ВНИИТУ-ВИД «Ремдеталь» и др.; под общ. ред. докторов технических наук, проф. М.И. Юдина и В.П. Лялякина. – Краснодар, 2000.- 352 с.
6. Чеботарев М.И., Шапиро Е.А., Олейник С.О. Внедрение «РВС-технологии» в практику технической эксплуатации машинно-тракторного парка // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2011. № 8.
7. Черноиванов А.Г., Шапиро Е.А. Качество ремонта машин, используемых в сельском хозяйстве: Учеб. пособие / Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2010. – 50 с.