



Металлоплакирующие смазочные материалы



Д.Н. Гаркунов

д.т.н., лауреат премии Правительства РФ и Президента РФ, президент отделения безызносности машин и механизмов АПК

В.Г. Бабель

д.т.н., академик АПК

Многие десятилетия (более 60 лет) для обеспечения нормального режима работы и снижения износа сопряженных пар трения в смазочные материалы для химического модифицирования поверхностей трения вводились противозадирные – противозадирные присадки, включающие элементы V, VI, VII групп системы Менделеева, в основном S, Cl, P-содержащие соединения в количестве до 15 %.

Общим в механизме действия защиты поверхностей трения таких присадок является образование тонких пленок около 0,1 мкм в виде сульфидов, хлоридов, фосфидов в результате химического взаимодействия присадок или продуктов их химического распада с контактирующими поверхностями.

Роль модифицирующих слоев состоит в насыщении свободных связей кристаллической решетки ювенильных поверхностей, обнажающихся в процессе пластической деформации при трении, и препятствовать их схватыванию и разрушению на глубину.

В случае применения серо-органических соединений (толщина пленки 300...400 нм), пленка стабильна до ~800 °С; при использовании хлорсодержащих соединений образующаяся пленка полимолекулярного слоя хлоридов железа $FeCl_2$, $FeCl_3$ стабильна до 300 °С. Пленки фосфидов железа возникают при сравнительно низких температурах (~200 °С). Фосфорсодержащие присадки слабо повышают противозадирные свойства, но обладают антифрикционными. По противозадирным свойствам эффективны присадки, содержащие одновременно серу и хлор. По-видимому, хлориды, образующиеся на поверхности металла, повышают смазочные свойства вследствие большей пластичности, а сульфиды усиливают их действие, обе-

спечивая большой противозадирный эффект. При всех режимах трения хлорсодержащие присадки были более эффективны и их активность зависела не столько от содержания хлора в сложной органической молекуле, сколько от подвижности (хлор в алкильной группе и хлор в бензоле).

Помимо термического разложения присадки могут подвергаться и гидролизу, и тогда в смазочной среде появляются активные продукты.

Для подавления кислотности, для защиты от коррозии в смазочную композицию вводились щелочные добавки. Щелочное число являлось одним из показателей ресурса рабочего масла.

Защита трущихся поверхностей применением сложных элементоорганических соединений продолжается до тех пор, пока не израсходовалась присадка, после чего наблюдается ускоренный износ от каталитического действия обнаженного металла и коррозии. Недостатком использования таких присадок является и отсутствие компенсации повреждений и износа.

В связи с ужесточением условий эксплуатации машин и механизмов, большими тепловыми и фрикционными нагрузками традиционно применяемые элементоорганические присадки не могут удовлетворять требования, предъявляемые к смазочным материалам. В решении этой проблемы получает развитие принципиально новое направление в создании смазочных материалов, основанное на научном открытии эффекта безызносности с использованием в узлах трения «металлоплакирующих» смазочных материалов, обеспечивающих высокую износостойкость деталей машин, снижение расхода горюче-смазочных материалов и энергозатрат.

Впервые термин «металлоплакирующий» появился в 1962 г. в связи с изобретением смазочного материала, реализующего эффект безызносности (избирательный перенос) – авторское свидетельство № 179609 от 14.05.1962 г., Д.Н. Гаркунов, В.Н. Лозовский, В.Г. Шимановский.

Получение и исследование металлоплакирующих смазочных материалов с применением металлов переменной валентности

Металлоплакирование сопряженных поверхностей происходит в процессе работы узла трения при использовании смазочного материала, обеспе-



чивающего условия режима избирательного переноса (эффекта безызносности) и существенно отличается от граничного трения, где определяющим является адсорбция смазки и механическое взаимодействие. Если в качестве присадки используется металлический порошок, то процесс образования пленки этого металла на поверхности трения может осуществляться либо путем намазывания (заполнения неровностей), т.е. путем механической адгезии, либо под воздействием больших контактных давлений, когда частицы металла могут вступать во взаимодействие друг с другом и с подложкой и образовывать прочную металлическую связь. При этом смазочная среда должна быть химически индифферентна по отношению к металлам, но достаточно вязкой для предотвращения слипания и оседания частиц металла. Такой процесс реализуют для меднения, латунирования различных поверхностей.

К МСМ относятся смазочные материалы, обеспечивающие образование сервовитной пленки на сопряженных поверхностях трения, реализующие эффект безызносности.

При введении в смазочную среду на минеральной или синтетической основе мягких металлов переменной валентности в различных формах соединений (порошки, оксиды, гидроксиды, металлоорганические соединения, соли таких металлов, как свинец, олово, хром, медь, цинк, бронза и др.) на поверхностях трения в местах фактического контакта образуется защитная металлическая пленка толщиной 1...2 мкм, которая в 10 раз превышает толщину пленок, образующихся при смазках с присадками химического действия. Благоприятное действие пленки металла будет в том случае, если ее толщина в зоне контакта будет в несколько атомных слоев (Боуден).

Для осуществления процесса металлоплакирования с реализацией эффекта безызносности в смазочном материале наряду с металлоплакирующим соединением необходимо наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ) и соединений, способных растворять оксиды металлов.

ПАВ участвуют в образовании комплексов, сольватированных частиц, в создании устойчивой дисперсной системы.

Существенное значение в процессе металлоплакирования имеют электрокинетические явления.

В зазоре между трущимися поверхностями генерируется ЭДС с высокой напряженностью электрического поля, благодаря чему и осуществляется перенос ионов, коллоидных частиц, молекул ПАВ. Среди различных электрических явлений при трении особая роль принадлежит экзоэлектронной эмиссии, которая характеризуется излучением электронов с поверхности твердого тела, возбужденной различными способами, в том числе трением.

При трении в условиях пластического деформирования возникают дефекты кристаллической решетки, происходят структурные превращения; слабо связанные электроны в возбужденных атомах перебрасываются на более высокие энергетические уровни, при этом кинетическая энергия свободных электронов увеличивается.

Трение, повышая энергию решетки металлов, снижает работу выхода электронов, вызывает возникновение экзоэлектронной эмиссии, интенсивность которой зависит от состояния поверхности, от режимных факторов трения и других условий (давление, температура).

Эмитированные свободные электроны ювенильной поверхности взаимодействуют с присутствующими акцепторами в смазочной среде (ионы металлов), восстанавливая их до нейтральных атомов (трибо-восстановительный процесс) с формированием сервовитной металлоплакирующей пленки на рабочей поверхности.

Структура сервовитной пленки. Свойства сервовитной пленки, образовавшейся в процессе трения, иные, чем у обычного металла, полученного из руд. Такое различие обязано условиям образования пленки.

Изучение структуры сервовитной пленки методом скользящего пучка рентгеновских лучей с углом не более 1° показало, что верхние слои пленки имеют значительные структурные изменения по сравнению с нижележащими слоями. В приповерхностном слое нет скопления дислокаций (повреждений), приводящих к разрушению поверхности, пленка не способна к наклепу, пориста, имеет малые сдвиговые усилия, низкий коэффициент трения и обладает высокой несущей способностью.

Поверхностно-активные вещества, вводимые в смазочные материалы или образующиеся при трении в самой смазке, легко хемосорбируются на поверхности такой пленки, образуя хемосорбированный слой (серфинг-пленка), что способствует дополнительному смазыванию и снижению коэффициента трения.

В режиме избирательного переноса (безызносности) протекают самоорганизующиеся процессы, приводящие при трении к диссипативной структуре, которая характеризуется:

- гомогенной средой;
- наличием фазового кинетического перехода (переход от консервативного передвижения дислокаций к реперползанию);
- обменом энергией и веществом с внешней средой (образование и распад комплексных соединений в смазке);
- ускорением потоков диффузии при пластической деформации.

Благодаря этим процессам диссипативная структура может существовать без финального исхода.

Среди металлов, вводимых в смазочные материалы, наибольшее распространение получила медь и ее производные. Давно известно традиционное использование органических солей меди в качестве гомогенных катализаторов окисления углеводородов. Позднее была обнаружена способность органических соединений меди к антиокислительному действию и возможность усиления эффективности органических антиоксидантов путем координирования их функциональных групп с соединениями меди.

С открытием ИП все чаще стали появляться работы с применением соединений переходных металлов для повышения износостойкости узлов трения.

Добавка незначительного количества комплексобразующего агента к смазкам заметно улучшает их смазочные свойства при трении медного сплава по стали, а введение готового комплекса меди – при трении стальных поверхностей.

Следует заметить, что для повышения износостойкости и несущей способности различные металлосодержащие добавки чаще всего использовались в консистентных смазках, буровых растворах, СОЖ. Гораздо меньше рекомендаций по применению их в маслах, что связано, очевидно, с жесткими требованиями, предъявляемыми к маслам: сохранение реологических свойств, растворимость, стабильность системы и др.

Нами впервые показана возможность применения неорганических солей – галогенидов металлов переменной валентности в качестве добавок к маслам для улучшения триботехнических свойств поверхностей трения. Образующийся слой меди содержит продукты механохимических превращений в щелочной среде, он довольно прочен и эластичен и может быть удален с поверхности только механической обработкой и травлением. На порошковом материале слой меди образуется позже, он более рыхлый.

Из разработанного железо-медно-стеклянного материала были изготовлены втулки подшипников скольжения ванн линии мерсеризации тканей, машин отбельного и отделочного цехов красильно-отделочных фабрик. Подшипниковые узлы работали в растворах едкого натра концентрации 40 г/л. В процессе работы на поверхностях трения стального вата и железо-медно-стеклянного подшипника визуально наблюдалась тонкая медьсодержащая пленка.

С учетом допустимой величины рабочего зазора подшипникового узла и зафиксированной интенсивности изнашивания пары трения срок службы подшипников скольжения из разработанного материала составляет 5–6 лет, т.е. в 2...3 раза больше, чем обычно.

Материалы для слаботочных электрических контактов

В приборостроении широко используют скользящие контакты, работающие в условиях сухого трения под воздействием различных токовых нагрузок. Часто к этим условиям помимо электрических параметров (таких как постоянство переходного сопротивления, низкий температурный коэффициент электросопротивления) предъявляются требования по определенному моменту троганья.

Одной из важных характеристик является высокая износостойкость материалов контактной пары.

В связи с требованиями надежного контактирования для изготовления скользящих контактов используются сплавы из благородных металлов, которые способны длительное время противостоять окислению и, следовательно, сохранять неизменным контактное сопротивление. Практика использования благородных металлов показала, что не все материалы обладают достаточной надежностью при работе скользящих контактных пар. Подбор материалов контактных пар, как правило, производится эмпирически.

Были проведены исследования работоспособности сплавов благородных металлов на основе золота, палладия, платины и серебра. Определялись коэффициенты трения контактных пар, их износостойкость, изменение профиля поверхности при трении, влияние формы контактирующих поверхностей и т.п.

Дальнейшая работа по выбору менее дефицитных материалов для скользящих контактов показала, что явление избирательного переноса происходит и на металлокерамических сплавах на основе серебра марок ПдСрН70-5 и ПдСр70.

Явление избирательного переноса, в частности золота, обеспечивает минимальный износ скользящих слаботочных электрических контактов. В связи с этим эффектом было предложено предварительно обрабатывать фетром с маслом ВМ-4 рабочую поверхность золотомедного сплава (ЗлХ-0,5; ЗлХ-2,8) до получения на этой поверхности тонкой пленки золота толщиной 1...1,5 мкм. В процессе работы образовавшийся слой золота переносится на щетку, размазывается по поверхности трения.

Для проверки работоспособности контактов, на которых был предварительно образован слой золота технологической полировкой фетром, были проведены сравнительные испытания (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительные испытания

Метод обработки	Износ щеток, мкм
Отжиг	17,6
Полировка фетром	4,1



Испытания показали более высокую износостойкость обработанных фетром колец по сравнению с отожженными.

Присадки, композиции и смазочные материалы, реализующие эффект безызносности

Наибольшее распространение получили металлоплакирующие присадки к СМ, образующие медную и оловянную сервоитные пленки.

1. Металлоплакирующая присадка МКФ-18, применяется в ряде отраслей: тяжелом машиностроении, рыболовецком флоте, станкостроении, сельскохозяйственной технике, автомобильном транспорте.

2. Смазка «Атланта», изготавливается на Московском экспериментальном нефтемаслозаводе, применяется в тяжело нагруженных узлах самолетов типа Су.

3. Смазка «Медея», применяется в узлах трения горнодобывающего и перерабатывающего оборудования в Казахстане.

4. Маслорастворимая многофункциональная металлоплакирующая присадка «Валена» (по ТУ-0257-001-17368431-05), применяется в узлах трения горнодобывающего и перерабатывающего оборудования в Казахстане, в тяжело нагруженных узлах трения железнодорожного транс-

порта, изготавливается на Кусковском заводе консистентных смазок.

5. Смазка «Пума М» применяется для смазки пары трения «колесо-рельс». Применяется в железнодорожном транспорте, изготавливается на Кусковском заводе консистентных смазок.

За рубежом применяются такие металлоплакирующие присадки, как «Металл-5» (Швейцария, Франция), «Лубри-фильм-металл» (Италия, Франция), «Слюдер 2000» (Англия), «Реловер» (США) и др.

Приведенные сравнительные испытания российских и зарубежных металлоплакирующих смазочных материалов показали, что российские СМ не уступают зарубежным, а некоторые из них даже превосходят.

Использование металлоплакирующих СМ позволяет повысить долговечность узлов трения (в 2...3 раза), снизить потери на трение (на 30...200 %) и тем самым повысить КПД машин и оборудования, уменьшить расход СМ (в 2...3 раза), увеличить период между смазочными работами (до 3 раз).

Информация о внедрении

Информация об использовании избирательного переноса (безыносного трения) в машинах и оборудовании приведена в табл. 2.

Таблица 2

Использование избирательного переноса в машинах и оборудовании

№	Машины, оборудование	Узлы трения	Что применено	Где используется (один из примеров)	Руководители работ
1	Самолеты	Тяжелонагруженные узлы, шасси управления	Металлоплакирующие смазки «Атланта» и др.	Конструкторское бюро им. Сухого	Дякин С.И. Шепер М.Н. Тепляшин А.В.
2	Тяжелое оборудование завода «Уралмаш», Новокраматорского машиностроительного завода, экскаваторы, редукторы, станки для бурения, металлургическое оборудование	Основные узлы трения, подшипники, зубчатые передачи	—//—	Предприятия нефтяной, горнорудной промышленности	Бондюгин В.М. Васильченко Н.
3	Оборудование и машины морского флота	Дизели морских судов, палубное оборудование	—//—	Судоверфи Мурманского Рыбфлота	Козлов Л.А.
4	Тяжелые автокраны	Поворотное устройство, ролики и направляющие	—//—	Ульяновский машиностроительный завод	Макаров Е.И.
5	Кузнечно-прессовое оборудование	Основные узлы трения	—//—	ЗИЛ	Зам. главного механика ЗИЛа

№	Машины, оборудование	Узлы трения	Что применено	Где используется (один из примеров)	Руководители работ
6	Строительные и дорожные машины, экскаваторы, бульдозеры	Основные узлы трения, ковши и др.	Металлоплакирующие смазочные материалы типа СМ-01 и присадка МКФ-18У	Белорусский филиал ВПТИ	Шупиков А.Е.
7	Шахтные комбайны типа 1К-У, К-ЮЗидр	Зубчатое зацепление редукторов	Металлоплакирующие смазки типа Диставик	Горловский завод редукторов	Рахутин В.С. Кобылянский С.И. Тищенко Л.С.
8	Насосы и др. оборудование магистральных нефтепроводов	Уплотнения, узлы разгрузки	Спеченый материал из карбидов вольфрама, никеля, меди	Гомельский ЦБПО «Главтранснефть»	Голуб М.В.
9	Электробуры	—//—	—//—	—//—	—//—
10	Электродвигатели для погружных насосов	—//—	—//—	—//—	—//—
11	Мощные турбогенераторы	—//—	—//—	—//—	—//—
12	Герметичные аппараты при производстве сорбита	—//—	—//—	—//—	—//—
13	Машины специального назначения	Основные узлы трения	Новые антифрикционные материалы	Воронежский политехнический институт	Гнусов Ю.В.
14	Пневмопрядильные машины типа ЛПМ-120МС	Подшипники качения	Металлоплакирующая смазка СПМ-5	Текстильный комбинат, г. Баку	Денисова Н.Е.
15	Прядильные машины типа БД-200М69	Подшипники качения и скольжения	—//—	Ивановский хлопчатобумажный комбинат	Денисова Н.Е. Турчков Е.В.
16	Швейное оборудование	Механизм челнока, игловодитель и др.	Металлоплакирующая присадка типа МКФ-18	Предприятия Минбыта РСФСР	Прокопенко А.К. Денисова Н.Е.
17	Обувное оборудование	Узлы трения кривошипа, кулисы и др.	Металлоплакирующая присадка типа МКФ-18, ФАБО	—//—	Прокопеко Л.К.
18	Трикотажное оборудование	Направляющие кареток, вязальный механизм	—//—	—//—	Прокопенко А.К.
19	Оборудование для обработки жаропрочных материалов	Режущий инструмент	Металлоплакирующая присадка	СКТБ, г. Пенза	Чекулаев О.В.
20	Автомобили ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, МАЗ и др.	Подшипники качения, скольжения, цилиндры двигателей	Металлоплакирующие смазки типа ПСМ, ФМС, присадка МКФ-18У	Пензенское и Одесское управления автотранспорта	Быстров В.Н. Софии В.Ф.
21	Двигатели автомобилей КамАЗ, ЗИЛ, МАЗ и др.	Подшипники качения и скольжения, цилиндр-поршень	Металлоплакирующие смазки, ФАБО	—//—	Быстров В.Н. Андреева А.Г. Софии В.Ф. Намаконов Б.В.
22	Двигатели тракторов Д-50, СМД-60 и др.	—//—	—//—	Арский РЗ Тат. АССР и др.	Ижиев Г.И. Кириллов Ю.И. Гребенюк М.И.
23	Троллейбусы «Шкода-9»	Узлы сцепляющего устройства	Металлоплакирующие смазки типа ФМС	Трамвайно-троллейбусное управление, г. Рига	Кремешный В.М. Либерман Л.М.



№	Машины, оборудование	Узлы трения	Что применено	Где используется (один из примеров)	Руководители работ
24	Дизели тепловозов Д100	Цилиндро-поршневое кольцо. Новая конструкция поршневого кольца с бронзовой вставкой	Металлоплакирующая присадка	Оренбургский тепловозоремонтный завод, локомотивное депо Барановичи	Асташкевич Б.М.
25	Скоростемеры локомотивов	Шестеренчатая, зубчато-реечная передачи	Металлоплакирующие смазки типа ПМС	Белорусская железная дорога	Бортник Г.И.
26	Манометры локомотивов	—//—	—//—	—//—	Бортник Г.И.
27	Тяговые электродвигатели	Подшипники качения	—//—	—//—	Дубина А.М. Бутом Е.М.
28	Подбивочные и рихтовочные машины	Подшипники качения и скольжения	—//—	—//—	Дубина А.М. Бутом Е.М.
29	Бытовые холодильники	Узлы трения, компрессоры	Металлоплакирующая присадка МКФ-18Х	Саратовское электроагрегатное ПО	Куранов В.Г.
30	Горно-шахтное оборудование	Подшипники качения и скольжения шарошечных машин	Металлоплакирующая смазка	Трест «Союзспецшахтооборудование»	Мельниченко И.М.
31	Насосы фунтовые, песковые, шламовые	Манжетные уплотнения, уплотнения штоков	Композиционный полиуретан, наполненный медью	ПО «Якуталмаз»	Кольцов Л. А.
32	Карьерные экскаваторы, кузнечно-прессовое оборудование	Подшипники скольжения	Биметаллические подшипники	Новосибирское НПО «Координатор»	Мельниченко И.М.
33	Энергоустановки, работающие на водороде	Основные узлы трения	Новые антифрикционные материалы	Ленинградский механический институт	Соколов Ю.Д. Беспрозванных Л.В.
34	Лесопильные рамы типа РД-2	—//—	Металлоплакирующие смазки	Пермский машиностроительный завод, Гомельский гос. университет	Пинчук В.Г.
35	Оборудование по спеканию синтетических алмазов	Пресс-формы	ФАБО	Предприятие ОБ-21 /1, г. Брянск	Мельниченко И.М.
36	Химические аппараты ПМ-50-0,4/0,6	Нижняя концевая опора	Наплавка сплавом релит-медь	Руставский ПО «Азот»	Воронков Б.Д. Шадрин В.Г.
37	Блюминг 1150	Нажимное устройство	ФАБО, металлоплакирующие смазки	Нижнетагильский металлургический завод	Быстров В.Н.
38	Технологическое оборудование	Тяжелонагруженные узлы трения	—//—	ПУя А-1457В-8772	Пинчук В.Г.
39	Приборные комплексы	Слаботочные электрические контакты	Новые антифрикционные материалы	Предприятия г. Саратова	Куранов В.Т.
40	Компрессоры разных типов	Цилиндры и поршневые кольца	ФАБО	Краснодарский компрессорный завод	Суруханов Б.Б.

№	Машины, оборудование	Узлы трения	Что применено	Где используется (один из примеров)	Руководители работ
41	Машины трения вращательного и возвратно-поступательного движения	а) роликоподшипник-ролик б) колодка-ролик; в) палец-пластина (диск)	Новый способ испытания жидких и пластичных смазочных материалов с присадками без присадок на термостойкость (а.с. 2378637)	МГТУ им. Н.Э. Баумана. Методика №01-13-ОД-2011	Гаркунов Д.Н. Мельников Э.Л. Бодарева А.В.
42	Железнодорожный транспорт	Рельсы, колесные пары, подшипники качения	Металлоплакирующая смазка «Пума» с присадкой «Валена»	Московская железная дорога	Бабель В.Г. Мамыкин С.М.
43	Горно-обогатительное оборудование	Подшипники шаровых мельниц	Металлоплакирующая смазка «Литол-24» с присадкой «Валена»	«Казахмыс» Джезказган, ОАО «Надежность и долговечность»	Корник П.И.
44	Металлообрабатывающее оборудование	Фильеры	Присадка «Валена» к смазочным материалам	Кольчугинский завод	Щедрин А.В.

Повышение износостойкости деталей и инструментов деревоперерабатывающего оборудования*



Г.А. Пилюшина

к.т.н., доцент кафедры «Технический сервис» Брянской государственной инженерно-технологической академии

Рассмотрены возможности повышения износостойкости деталей машин, оборудования и режущего инструмента на основе комплексных подходов, включающих конструкторско-технологические и эксплуатационные мероприятия с учетом осо-

бенностей изнашивания изделий в конкретных условиях их работы. Представлен обзор результатов теоретических и прикладных исследований выполнявшихся в течение ряда лет.

Ключевые слова: износостойкость, деревоперерабатывающее оборудование, режущий инструмент, изнашивание, трение, функциональные поверхности, упрочняющая обработка.

Перспективы развития и обеспечения конкурентоспособности предприятий лесного комплекса неразрывно связаны с необходимостью повышения работоспособности используемой техники и достижения тем самым условий для осуществления высокопроизводительной заготовки и переработки древесины за счет увеличения надежности используемых машин. Поэтому достижение высокой эксплуатаци-

* Работа выполнена под руководством и редакцией заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Памфилова Е.А.