

## ЕЩЁ РАЗ И НЕСКОЛЬКО ИНАЧЕ О МЕТАЛЛОПЛАКИРОВАНИИ, ФАБО И БЕЗЫЗНОСНОСТИ

© 2011 А.С. Кужаров, А.А. Кужаров

Донской государственной технический университет, г. Ростов – на – Дону

Поступила в редакцию 10.11.2011

В докладе представлены литературные данные и результаты исследований авторов по одному из новейших достижений триботехники - самоорганизации трибосистем в режиме безыносного трения, металлоплакирование в котором является стадией в формировании особой структуры сервитивной пленки, обеспечивающей безыносность и сверхантифрикционность трибосопряжений. Дано определение и обсуждены основные способы и технологии, обеспечивающие использование металлоплакирования для получения и повышения качества конструкционных и функциональных материалов. Особое внимание уделено материалам триботехнического назначения. Показано, что при трении начальная стадия реализации избирательного переноса, механизм смазывающего действия металлоплакирующих смазок и финишная антифрикционная обработка трущихся поверхностей деталей машин прямо связаны с плакированием контактной зоны трибосопряжений.

Ключевые слова: металлоплакирование, трение и износ, избирательный перенос.

### Введение. Терминология и определения.

**Металлоплакирование**, плакирование металлами, от фр. *plaquer* – покрывать, накладывать, англ. *cladding* – в общем случае способы и технологии обеспечивающие: послойное соединение металлов и сплавов с образованием многослойного материала (биметалл, триметалл и т.д.); восстановительный ремонт деталей машин;

функционализацию поверхности конструкционных материалов. В трибологии и триботехнике металлоплакирование: начальная стадия в механизме избирательного переноса (ИП); финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО); причина эффективности, механизм действия и результат применения металлоплакирующих смазочных материалов и покрытий.

**1. Технологии плакирования** (послойного соединения) металлических, керамических и полимерных материалов, такие как горячая и холодная прокатка, двухслойное литье, плакирование взрывом, наплавка плакирующего слоя и др. в их современном аппаратном оформлении, часто совмещенные с нанесением гальванических покрытий, обеспечивают бездефектное соединение при получении широко применяемых в машиностроительной практике многослойных материалов. Для плакирования низколегированных сталей, например, применяют коррозионностойкие ферритные и аустенитные стали, медь и никель, латунь и бронзу, алюминий и его сплавы, сплавы на основе титана, ниобия, молибдена, вольфрама и т.д. Наиболее распространенный в настоящее время термомеханический способ плакирования заключается в том, что на матрицу основного металла накладывают с одной или обеих сторон

листы другого металла, затем весь пакет подвергают горячей прокатке. В результате термодиффузии на границе раздела металлов получают прочное многослойное изделие. Для плакирования применяют металлы и сплавы, обладающие хорошей свариваемостью: углеродистые и кислотостойкие стали, дюралюмины, сплавы меди, а в качестве защитного покрытия используют алюминий, тантал, молибден, титан, никель, нержавеющие стали и т.д. Многослойные плакированные, чаще всего биметаллы и триметаллы, материалы при удачно подобранных сочетаниях компонентов являются не только заменителями однородных материалов с аналогичными свойствами, но и обладают более высокими эксплуатационными показателями и значительно более низкой стоимостью, чем аналогичные им по свойствам однородные материалы. Кроме того, плакированные изделия отличаются повышенной прочностью, что приводит к снижению металлоемкости при их использовании в конструкциях машин и механизмов и дает дополнительную техническую и экономическую эффективность.

**2. Восстановительный ремонт** металлоплакированием деталей машин, в том числе и контактирующих при трении, проводят методами электротермического, газотермического или плазменного напыления, что позволяет в широких пределах (до нескольких мм) регулировать толщину плакирующего слоя, используя в качестве материала покрытия самые разнообразные металлы и сплавы, в том числе и тугоплавкие, а также композиционные материалы. Получаемые таким образом покрытия содержат в своем составе как частицы используемого для плакирования материала, так и продукты его окисления, что требует для обеспечения стабильных характеристик плакирующего слоя высокой технологической дисциплины и стабильных режимов работы используемого оборудования. В качестве материала плакирующего слоя при восстановлении узлов трения электротермическим способом исполь-

*Кужаров Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры химия.*

*Кужаров Андрей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры химия.*

*E-mail: aakuzharov@donstu.ru*

зуют стальные, медносталльные, медносвинцовые, алюминиемедные, алюминиецинковые и другие псевдосплавы. Триботехническая эффективность наносимых таким образом антифрикционных и износостойких лакирующих слоев проявляется как при трении без смазки, так и в условиях гидродинамического и граничного трения, что обусловлено не только составом псевдосплава, но и его повышенной маслостойкостью за счет неизбежной пористости получаемых восстановленных поверхностей. Относительно новым способом безразборного сервиса различной техники и восстановительного ремонта трущихся деталей машин, особенно при небольших износах трибосопрежений является использование так называемых ремонтно-восстановительных составов (РВС) – обычно жидких препаратов, содержащих в своем составе растворимые или ультрадисперсные металлы, их химические соединения или сплавы, способные в процессе эксплуатации формировать направленный на поверхность трения поток металлического компонента состава, который в результате трибостановительных химических реакций, обеспечивает формирование металлолакирующего слоя в наиболее энергонапряженных местах фрикционного контакта.

**3. Функционализация поверхности** конструкционных материалов путем металлолакирования – придание особых, не свойственных основному материалу, свойств необходимых для обеспечения работоспособности или повышения ресурса продукции машиностроения. Чаще всего это придание и обеспечение поверхности основного материала антикоррозионных, в том числе и обеспечение особой химической стойкости в сверхагрессивных средах, теплоизоляционных, например, при создании абляционных материалов, электрических, магнитных и механических, включая антифрикционные и противозносные, свойств. Функционализация поверхности металлолакированием имеет особое значение для полимерных материалов, применительно к которым часто используется термин металлизация пластмасс. Из наиболее важных функций выполняемых металлизированными полимерами и пластмассами необходимо выделить электропроводность лакирующего слоя и его непрозрачность для различного вида электромагнитных излучений.

#### 4. Металлолакирование в трибологии

**4.1. Начальная стадия ИП** в его классической реализации при трении медного сплава по стали в глицерине связанная с самоорганизацией трибосистемы и ее эволюционным переходом в режим безызносности и сверхантифрикционности всегда характеризуется достаточно высокими коэффициентами трения (до 0,2), заметным износом медного сплава и его фрикционным переносом на поверхность стали (лакирование поверхности стали). Для получения качественного лакирующего слоя на стали необходимо обеспечить превышение энергии адгезионного взаимодействия стали и медного спла-

ва над энергией когезионного разрыва медного сплава. В противном случае наблюдается катастрофический износ медного сплава. На практике эти два процесса происходят одновременно с преобладанием того или иного в зависимости от условий фрикционного контакта, природы медного сплава и состава смазочной среды. Свой вклад в формирование лакирующего слоя вносят и продукты износа медного сплава попадающие в зону фрикционного контакта, так что образующийся слой на поверхности трения всегда является высокодефектным и пористым. Его состав, зависящий как от природы контактирующих при трении тел, так и от условий фрикционного взаимодействия  $(P, V, T)$ , а также состава смазки, представлен всеми химическими элементами, входящими в состав трущихся тел и смазочного материала, и тем более отличается от исходного состава медного сплава, чем больше время фрикционного взаимодействия и чем выше химическая активность смазочной среды. При этом эволюционные изменения в трибосистеме, связанные с повышением содержания меди в лакирующей поверхности стали сервоитной пленке приводят к кардинальному изменению триботехнических характеристик трибосопрежения при реализации эффекта безызносности при трении.

**4.2. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО)** – способ повышения износостойкости деталей машин путем нанесения на них тонкого антифрикционного слоя металла за счет трения наносимого металла о деталь. Сущность способа ФАБО состоит в том, что на рабочую поверхность детали наносится слой цветного металла или сплава при фрикционном взаимодействии поверхности обрабатываемой детали и инструмента – стержня (набора стержней) соответствующего металла или сплава в специально подобранной рабочей жидкости. В зависимости от материала инструмента и материала обрабатываемой детали режимы обработки, состав рабочей жидкости, толщина лакирующего слоя и его структура меняются в широких пределах, что позволяет регулировать его свойства. Чаще других в качестве материала лакирующего слоя используются медь и ее сплавы и в этом случае ФАБО часто называют фрикционным меднением, латунированием или бронзированием, хотя известно и применение других мягких и пластичных металлов и сплавов на основе олова, никеля, цинка и др. Толщина лакирующего слоя достигаемая в технологии ФАБО составляет обычно от 2,5 до 25 мкм. По своей физико-химической сути ФАБО тесно связано с эффектом безызносности при трении и фактически переносит начальную стадию избирательного переноса в технологию изготовления подвижных сопряжений машин, что сокращает время приработки подвижных сопряжений машин, механизмов и приборов в результате формирования лакирующего слоя с шероховатостью близкой к равновесной. Эффективным и перспективным направлением

применения металлоплакирования по технологии ФАБО представляется совмещение ее с технологией обработки металлов резанием за счет использования металлолакирующих СОТС и формирующих на обрабатываемой поверхности тонкие пленки металла из его соединений, входящих в состав СОТС. Такие технологии обычно используют для создания металлического подслоя, например медного, при необходимости последующего нанесения гальванических покрытий, например, в электрохимических технологиях никелирования или хромирования.

Разновидностью ФАБО является метод плакирования гибким инструментом основанный на использовании в стандартных технологиях шлифования в качестве инструмента вместо абразивных кругов дисковых проволочных щеток изготовленных из металлов и сплавов, формирующих металлолакирующий слой на рабочей поверхности обрабатываемой детали. В таком оформлении технологии ФАБО появляется возможность для ее интенсификации, повышения производительности и улучшения экономических показателей металлоплакирования узлов трения.

**5.3. Металлолакирующие смазочные материалы** - это смазочные масла, пластичные смазки, СОТС, самосмазывающие металлополимерные материалы и покрытия, повышенные триботехнические свойства которых обеспечиваются введением в их состав высокодисперсного лакирующего металла или сплава, включая их нанопорошки, а также различных нерастворимых и растворимых в основах смазочных материалов соединений металлов, включая их смеси, гетерометаллические комплексные и супрамолекулярные соединения, способных обеспечивать процессы автокомпенсации износа в подвижных сопряжениях машин и механизмов. Металлолакирующие смазочные материалы классифицируют по составу, где учитывается, прежде всего, природа лакирующего компонента, его состав и химическое строение, и по назначению различая и учитывая, что масла и СОТС, как правило, жидкости разной вязкости, пластичные смазки - структурированные коллоидные системы, а металлополимерные композиты представляют собой твердые тела. Исторически первым примером разработки и применения металлолакирующих смазок является относящееся к началу XX века использование в составе пластичной смазки лакирующего компонента в виде амальгамы меди и свинца. За прошедшее с тех пор время в состав металлолакирующих смазок вводились практически все металлы, как в элементарном виде, так и в виде сплавов или химических соединений. В настоящее время достоверно установлено, что лакирующие металлы и сплавы такие как медь, свинец, олово, цинк, алюминий, серебро, золото, кадмий, бронза, латунь, сверхпластичные сплавы типа *Bi-Pb-Sn*, *Bi-Cd-Sn-Pb*, *Bi-Hg-Pb-Sn*, *Pb-Sn*, *Zn-Sn*, *Pb-Sb-Sn*, и т.д. существенно улучшают триботехнические характеристики металлолакирующих пластичных смазок, расширяя нагрузочные пределы их приме-

нимости в тяжело нагруженных узлах трения уменьшая износ и коэффициент трения в 8 – 10 раз. Широко известные и промышленно производимые смазки серии «Свинцоль» с 10% порошкообразного свинца в составе расширяют пределы работоспособности основ, на которых они приготовлены, смазок ЦИАТИМ-201 и ЦИАТИМ-203 в 2 – 2,5 раза, увеличивая критическую нагрузку заедания и нагрузку сваривания в 2 – 3 раза, а использование металлолакирующих смазок с порошками серебра или золота существенно улучшает эксплуатационные характеристики узлов трения авиационной и ракетной техники, обеспечивая их работоспособность и ресурс при нагрузках до  $2 \cdot 10^4$  МПа и температурах до 350°C. Отечественной промышленностью еще с начала 60-х годов прошлого века освоено производство достаточно широкой номенклатуры смазочных материалов и прежде всего металлолакирующих пластичных смазок различного назначения: антифрикционных, например, КСБ, ЛСЦ-15, ЭШ-176, ВНИИ НП-254, СМ-01«Л» и др.; резьбовых таких как Р-2, Р-113, Р-402, Р-416 и т.д.; уплотнительных «Бензиноупорная», обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками за счет содержащегося в их составе металлолакирующего компонента. В последнее время появилось большое количество жидких (истинных или коллоидных растворов) продуктов для безразборного восстановления изношенных деталей машин, прежде всего двигателей внутреннего сгорания, или значительного снижения износа, особенно, тяжело нагруженных трибосопряжений. Примером могут служить, в частности, реметаллизанты для ДВС, например, Remetall, содержащий «...мельчайшие частицы сплавов олова, меди и серебра, образующие в процессе работы двигателя защитный слой на трущихся поверхностях...». Вводя такого же типа добавки в пластичные смазки, получают металлолакирующие смазки, например, смазка «ВЫМПЕЛ» на основе стандартной пластичной смазки ЛИТОЛ-24, которая своей «...уникальной эффективностью...», по мнению ее производителей, обязана «...добавкам специально обработанных высокодисперсных порошков цинка и других цветных металлов и сплавов...». К такого же типа смазкам относятся одобренные Военным ведомством США пасты для экстремально тяжелых условий работы фирмы HUSKEY™ & SLIPKOTE®, представляющие собой компаундированные в синтетическое базовое масло понижающие трение твердые смазочные присадки - порошки никеля, алюминия и графита - «HUSKEY 684 Anti-Seize» или порошки меди, алюминия и графита - «HUSKEY Anti-Seize». Анализ показывает, что во всех таких случаях имеем дело, как правило, с известными металлолакирующими смазочными материалами, которые получают введением в базовый состав добавок и (или) присадок (0,1-10% по массе) порошков и химических соединений мягких металлов. Механизм смазочного действия и эффективность металлолакирующих добавок и присадок, в

качестве активных компонентов которых используются как чистые металлы, например, медь, свинец, олово, индий и т.д., так и их сплавы, в частности, латунь, бронза, сплав Вуда и другие сверхпластичные сплавы, а также неорганические соединения металлов (оксиды, соли), координационные и металлоорганические соединения, связан с реализацией в зоне трения эффекта безызносности при трении, сама возможность реализации которого зависит от многих факторов, в том числе от внешних условий ( $P, V, T$ ) и проявляется всегда в строго определенном интервале нагрузок, скоростей и температур. Суть этого механизма заключается в том, что содержащийся в составе смазочного материала металл при определенных условиях выделяется на поверхности фрикционного контакта с образованием металлической пленки, защищающей в некоторых случаях поверхность трения от разрушения или уменьшающей износ и приводящей в еще более редких случаях к реализации избирательного переноса при трении со свойственными только ему уникальными триботехническими характеристиками пары трения. Современный уровень знаний о механизмах металлоплакирования и безызносности при трении связан с нанотехнологическим подходом при объяснении уникальных триботехнических характеристик и синергетическим поведением открытых трибологических систем, что позволяет объяснить сверхантифрикционность и безызносность при использовании металлоплакирующих смазок и технологий протеканием в зоне трения самоорганизующегося процесса микромодифицирования поверхности первичными нанопорошками, в роли которых могут выступать любые металлсодержащие продукты, образующие на дефектах поверхности трения под воздействием выделяемой при трении энергии новые активные центры зарождения и роста нанокристал-

лических структур в виде микропокрытий, существенно отличающихся по свойствам от исходного материала поверхности. Свойствами таких покрытий можно управлять с помощью состава и свойств первичных нанопорошков так, что они могут сочетать одновременно сверхпластичность с износостойкостью или обладать другими заранее контролируемыми параметрами. Таким образом, металлоплакирующие смазки, добавки и присадки являются эффективным средством улучшения триботехнических свойств различных смазочных материалов, но не могут быть и не являются панацеей от всех бед при трении металлов, а их популярность на рынке связана с не всегда надежно обоснованными рекламными заявлениями их производителей, обусловлена недостаточной компетентностью потребителя и снобизмом специалистов, считающих недостойным своего внимания исследование продуктов, полученных в полукустарных условиях.

**Выводы.** Представленные в докладе материалы позволяют утверждать, что металлоплакирование вообще, и металлоплакирование при трении в частности, является эффективным средством и технологией получения новых высокотехнологичных и высокоэффективных материалов и покрытий способных обеспечить потребности современного машиностроения. Перспективы развития работ по получению плакированных материалов и компонентов плакирующих слоев, особенно для использования в триботехнике, в ближайшем будущем, несомненно, будут связаны с созданием интеллектуальных материалов и покрытий, что может быть обеспечено за счет использования синергетического подхода при разработке технологий металлоплакирования с использованием нанотехнологий и наноматериалов, в том числе и ультрадисперсных порошков металлов в качестве плакирующих компонентов.

#### AGAIN AND A LITTLE BIT DIFFERENTLY ABOUT METAL-CLADDING, “ANF” AND WEARLESS

© 2011 A.S. Kuzharov, A.A. Kuzharov

Don state technical university, Rostov-on-Don

Presents the literature and research data obtained by the authors in one of the latest achievements of tribotechnics - self-organization of tribology systems in wearless friction mode, where the metal-cladding is stage of the formation of the special structure - the servovit film, which providing wearless and super antifriction. The main methods and technologies, which providing metal-cladding for production and improving the quality of structural and functional materials are defined and discussed. Particular attention is paid to materials of tribology engineering destination. Are shown, that at friction the initial implementation phase of selective transfer, the mechanism of metal-cladding lubricants and finishing antifriction treatment of friction surfaces of machine parts are directly related to the cladding of contact surface area of friction units.

Keywords: metal-cladding, friction and wear, a selective transfer.

*Kuzharov Alexander Sergeevich, Dr.Sci.Tech., the professor of chair chemistry.*

*Kuzharov Andrey Aleksandrovich, Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair chemistry. E-mail: aakuzharov@donstu.ru*