

УДК 621.793.795

НАНОИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Д. С. Ступников, Д. А. Паринов (ВГЛТА)

Одним из направлений исследований в области нанотехнологий является наноинженерия поверхностей трущихся деталей, то есть создание методов и технологий формирования поверхностей с оптимальными прочностными и триботехническими свойствами на всех этапах жизненного цикла машиностроительного объекта. Работы в этой области охватывают не только этапы разработки, изготовления или ремонта машин и оборудования, но и дальнейший период их эксплуатации, в том числе обкатку, техническое обслуживание, тюнинг и безразборный ремонт.

Рассматривая нанотехнологию по Дрекслеру, следует помнить, что именно называется технологией «снизу вверх»: более сложные объемы строятся из простых – отдельных атомов, молекул, наноструктур. В отличие от такого подхода, технология «сверху вниз» предполагает получение малых изделий из больших объемов конструкционного материала. По второму пути человечество следует со времен своего возникновения до наших дней. Первобытный человек из большого камня путем невероятных усилий изготавливал себе наконечник для стрелы, затем топор или мотыгу. Одного неверного движения было достаточно, чтобы многодневный труд пришел в негодность. Современное машиностроение, не говоря уже о ремонтном производстве, недалеко ушло с нижнего уровня в направлении «верхних» технологий по Дрекслеру. При изготовлении ряда деталей в процессе механической обработки до четверти объема материала заготовок переводится в стружку.

Нанонаука и нанотехнология стали наиболее востребованными и престижными в последние десятилетия, однако исследования в нанохимии и нанофизике ведутся уже около полувека, а ряд наноматериалов известен еще с древности.

Как уже отмечалось, многие непонятные для своего времени явления с развитием нанонауки получили научное обоснование и дальнейшее практическое развитие [3].

2 Избирательный перенос

Так, еще относительно недавно считалось, что трение в подвижных соединениях – только разрушительный процесс, приводящий к отказу узла или машины и в связи с этим к огромным материальным затратам. Открытие изби-

рательного переноса (ИП) при трении, или так называемого «эффекта безызносности», сделанное советскими учеными Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским в 1956 г., позволило изменить сложившееся представление о механизме изнашивания и трения, но многие явления, характерные для него, оставались необъяснимой загадкой.

Как пишет в своей книге «Триботехника (износ и безызносность)» один из последних отечественных классиков трибологии, автор открытий явлений избирательного переноса при трении («эффекта безызносности») и водородного изнашивания металла, Д. Н. Гаркунов: «Трение – удивительный феномен природы! Оно подарило человеку тепло и огонь... возможность записать человеческий голос, услышать звуки скрипки и многое другое».

Однако трение воспринимается как явление, приводящее к большим материальным потерям в экономике всего мира [3].

Известно, что больше половины топлива, потребляемого автомобилями, тракторами, тепловозами и другими видами транспорта, расходуется на преодоление сопротивления, создаваемого трением в трущихся соединениях. Например, в текстильном производстве на преодоление сопротивления трения затрачивается около 80 % потребляемой электрической энергии. Низкие коэффициенты полезного действия (КПД) большинства устройств обусловлены главным образом потерями на трение. КПД глобоидного редуктора, устанавливаемого в лифтах, металлорежущем оборудовании, шахтных подъемниках и др. даже после приработки составляет только 0,65-0,70, а в такой распространенной паре, как винт-гайка, и того меньше: лишь 0,25.

Именно по причине нулевого КПД в 1775 г. Французская академия наук приняла официальное решение об отказе рассматривать какие бы то ни было проекты «перпетуум-мобиле» (perpetuum mobile) – вечного двигателя. Это случилось более чем за семьдесят лет до открытия закона сохранения энергии со следующим объяснением: «Построение перпетуум-мобиле абсолютно невозможно. Если бы даже трение и сопротивление среды в течение длительного времени не смогли уничтожить двигательной силы, то эта сила могла бы произвести только эффект, равный причине... Если бы можно было пренебречь трением и сопротивлением среды, то тело, которое приведено в движение, могло бы оставаться в движении, но не оказывать воздействие на другие тела, и «перпетуум-мобиле», который получился бы в этом гипотетическом случае (что в природе невозможно), был бы абсолютно бесполезен...».

Гаркуновым и Крагельским было обнаружено неизвестное ранее явление самопроизвольного образования тонкой пленки меди в парах трения бронза-сталь деталей самолетов в условиях смазывания их спиртоглицериновой средой и консистентной смазкой ЦИАТИМ-201. Особенностью эффекта было то, что пленка покрывала не только бронзовую деталь, но и сопряженную с ней стальную поверхность. При этом образовавшаяся тончайшая медная пленка снижала износ и уменьшала силу трения в соединении в 10 и более раз. В дальнейшем при анализе условий работы и трущихся поверхностей деталей поршневого компрессора бытового холодильника было обнаружено аналогичное явление в паре трения сталь-сталь. В данном случае это являлось следствием растворения масло-фреоновой смесью медных трубок охладителя, находящихся на значительном удалении от зоны трения.

Сущность ИП, согласно обнаруженному явлению, заключается в том, «...что при трении медных сплавов о сталь в условиях граничной смазки, исключаяющей окисление меди, происходит явление избирательного переноса меди из твердого раствора медного сплава на сталь и обратного ее переноса со стали на медный сплав, сопровождающееся уменьшением коэффициента трения до жидкостного и приводящее к значительному снижению износа пары трения...». Это явление первоначально было названо атомарным переносом. Позднее, в 1968 г. ИП был определен как «...вид фрикционного взаимодействия, характеризующийся молекулярной составляющей силы трения. ИП возникает в результате протекания на поверхности контактирующих тел химических и физических процессов, приводящих к образованию самоорганизующихся систем автокомпенсации износа и снижения коэффициента трения. Для этого явления наиболее характерно образование защитной (сервовитной) пленки, в которой реализуется особый механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам». Название «сервовитная» (пленка) происходит от латинского *servo vitte* – спасти жизнь, что подразумевает предотвращение трущихся поверхностей от изнашивания.

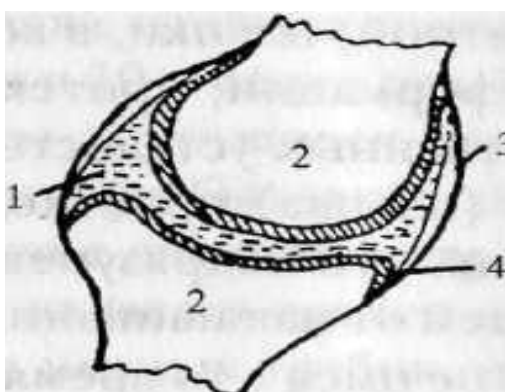
Обнаружив необычное явление, но не имея в то время необходимого инструментального оборудования, ученые в полной мере не смогли объяснить физическую сущность процесса и разработать теоретические аспекты прогнозирования условий, при которых возникает и протекает эффект безызносности.

Проведенные в последнее время исследования указывают на то, что реальная толщина такой пленки не превышает 1000 Å (100 нм), то есть данное яв-

ление с полной уверенностью можно отнести к проявлению нелинейных эффектов в наном мире. Это на первый взгляд незначительное уточнение позволяет объяснить многие процессы избирательного переноса при трении с позиций современной нанонауки и практически реализовать эффект безызносности трущихся поверхностей (не только медьсодержащих) с использованием последних достижений нанотехнологий.

Обращаясь за примерами к живой природе, можно обнаружить, что подобные соединения, обладающие практически полной безызносностью, уже давно существуют. Суставы живых организмов десятки лет действуют на принципах, к которым современная наука только приближается, создавая так называемые интеллектуальные самонастраивающиеся подвижные соединения.

Строение сустава живого существа и пары трения бронза-сталь в условиях ИП достаточно близки (рис. 1). В суставе также работают два мягких хряща 4, покрывающих костную ткань и разделенных полимерной, можно сказать «сервовитной», пленкой. В качестве смазывающей среды выступает синовиальная жидкость 1.



1 – синовиальная жидкость; 2 – костная ткань; 3 – оболочка сустава;
4 – хрящ с полимерной пленкой

Рисунок 1 – Схема работы сустава живого существа

Явление ИП объясняет, почему компрессоры холодильных установок десятилетиями работают в тяжелейших условиях пуска – останова без отказов и, следовательно, без ремонта, да и практически без какого-либо технического обслуживания: в них образуется определенная самоорганизующаяся система, которая регулирует процессы изнашивания и регенерации трущихся поверхностей. Чтобы теоретически объяснить процесс восстановления трущихся соединений при их непрерывной и длительной эксплуатации, наиболее важен механизм образования сервовитной пленки. Выявлено, что он может идти двумя

путями. Первый характеризуется предварительным схватыванием и «намазыванием» медного сплава на поверхность стали с последующим обогащением сопряженных поверхностей трения медью вследствие избирательного растворения медного сплава и «намазанного» слоя с образованием квазижидкой пленки меди на обеих поверхностях трения. Второй путь связан с коррозией медного сплава и последующим атомарным переносом меди. В период намазывания коэффициент трения повышается, а затем (по мере выделения меди) постепенно стабилизируется. Во втором случае коэффициент трения сразу же начинает уменьшаться, следовательно, схватывания не происходит.

Для образования сервовитных пленок в соединениях, не содержащих медных или других пластичных сплавов (цинка, олова, серебра, золота, палладия и др.), необходимые компоненты должны быть введены в смазочный материал или другие рабочие жидкости, например топливо, промывочные и охлаждающие жидкости.

Одним из главных факторов, указывающих на наличие одновременного протекания при трении трибокоординации и трибовосстановительного распада, который приводит к самоорганизации фрикционной системы (пары трения), является автоколебание концентрации медьсодержащих продуктов в смазочном материале, то есть наличие определенной эволюции процессов в зоне контакта трущихся поверхностей [1].

3 Финишная антифрикционная безабразивная обработка

В природе существуют фундаментальные явления, процессы, механизмы (на нано-, микро- и макроуровнях), связанные с физикой, химией, энергетикой поверхностей материалов, веществ и частиц. В результате исследований ученых трение теперь представляется не только как разрушительное явление природы – оно в определенных условиях может быть реализовано как самоорганизующийся созидательный процесс, позволяющий разработать новые, ранее неизвестные методы восстановления деталей и технического сервиса машин. К ним, в частности относятся: технология финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО), методы ускоренной приработки (обкатки) деталей машин и оборудования, безразборное восстановление агрегатов и узлов техники при непрерывной работе и др.

На износостойкость трущихся поверхностей большее влияние оказывает их окончательная (финишная) механическая (абразивная) обработка, при которой уменьшается шероховатость (путем тонкого шлифования, плосковершинного хонингования, суперфиниширования, полирования и т. д.).

Конструкционные материалы, поверхности которых обладали бы одновременно высокими прочностными, антифрикционными и антикоррозионными свойствами, могут быть получены путем нанесения специальных наноструктурированных покрытий.

Для их нанесения или осаждения существуют различные технологии. В зависимости от комбинации «покрытие-подложка» и условий применения покрытия способы нанесения покрытия реализуются с помощью самых разнообразных установок.

В промышленности широко применяется метод фрикционного (с помощью трения) нанесения медьсодержащих покрытий – финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО). Покрытия толщиной от 50 до 500 нм из пластичных металлов наносятся в присутствии специальной технологической среды на трущиеся поверхности деталей – коренные и шатунные шейки коленчатого вала, гильзы цилиндров, реборды и поверхности качения вагонных колесных пар, различного вида штоки, пальцы, резьбовые соединения и т. д [4].

4 Применение и классификация финишной антифрикционной безабразивной обработки

ФАБО применяется в целях снижения интенсивности изнашивания, повышения задиростойкости трущихся поверхностей и интенсификации процессов образования защитных пленок в период приработки после изготовления или ремонта изделия. Впервые данный метод нанесения покрытий (фрикционное латунирование) был предложен Д. Н. Гаркуновым и В. Н. Лозовским. Основные способы ФАБО условно делятся на две группы:

1 Фрикционно-механическое нанесение металлических покрытий инструментом из медьсодержащего сплава (фрикционное латунирование, бронзирование или меднение); фрикционно-химическое нанесение покрытий в металлоплакирующих средах, содержащих различные поверхностно-активные вещества и соли металлов, способные к восстановлению на обрабатываемых поверхностях при воздействии роликов, дисков, брусков, щеток, тампонов и т. д. из неметаллического инструмента; фрикционное нанесение покрытий из пластичных сплавов в металлоплакирующих средах.

2 Нанесение слоистых твердосмазочных покрытий в виде графита, дисульфида молибдена и других соединений контактным намазыванием различными методами.

К разновидностям ФАБО относятся: химико-механическое нанесение покрытий (Россия); нанесение покрытий трением с применением щеток (ФРГ); натирание поверхности латунью (Россия); электростатическое нанесение покрытий трением (Швейцария); механическое нанесение латунных покрытий трением (механическое латунирование) в среде глицерина (ФРГ, Россия); химико-механическое латунирование с применением медьсодержащего вспомогательного материала (ФРГ) и ряд других.

При двух последних методах упрочнение поверхностных слоев объединено с нанесением покрытий трением.

Использование ФАБО имеет следующие достоинства: небольшие затраты расходных материалов и электроэнергии; стабильно высокое качество покрытия, в том числе и при некоторых отклонениях условий нанесения от оптимальных; автоматизация процесса; экологическая безопасность; высокая экономическая эффективность и др.

Принцип латунирования состоит в том, что натирающий латунный элемент (стержень или трубка), вращаясь относительно своей продольной оси, при достаточно малом усилии нажатия и в присутствии вспомогательного рабочего материала (например, глицерина) натирает слой латуни на подлежащую покрытию стальную или чугунную поверхность. Одновременно происходит поверхностное упрочнение основного материала на глубину 70-80 мкм вследствие высокого давления в месте линейного контакта.

ФАБО осуществляется в присутствии специальных технологических сред. Практически во всех средах используется глицерин, который в результате трибодеструкции (распада под действием энергии трения) на поверхностях контактирующих тел окисляется, превращаясь в глицериновый альдегид, акролеин, формальдегид, глицериновую кислоту и другие продукты с меньшей, чем у глицерина, молекулярной массой.

При фрикционно-химическом нанесении покрытий в металлоплакирующих средах используются различные соли пластичных металлов, например дихлорид меди. В процессе обработки происходит гидролиз солей с образованием кислот.

Образующаяся соляная кислота способствует удалению оксидных пленок, и в результате взаимодействия с оксидами железа на обрабатываемой поверхности формируются защитные слои из хлоридов железа. Происходит восстановление продуктов коррозии и растворение активных металлов и их соединений. Взаимодействие продуктов превращения глицерина и других органиче-

ских веществ, содержащихся в технологических средах, приводит также к образованию высокомолекулярных соединений и полимеров трения.

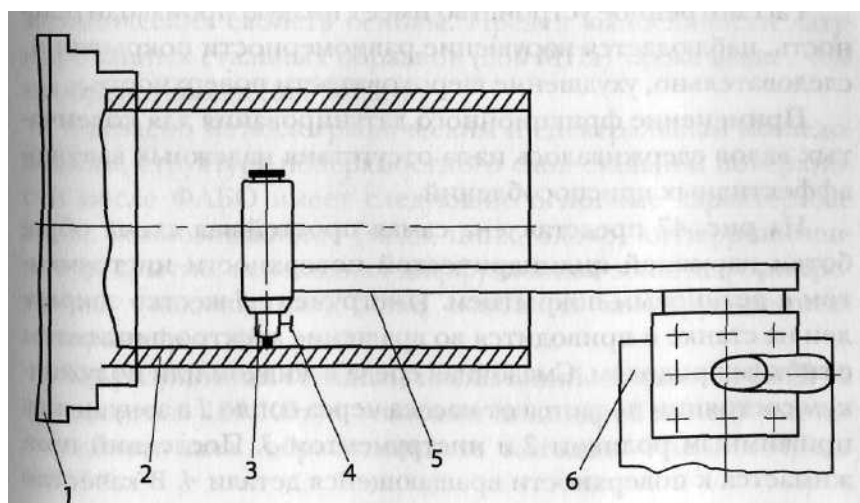
При ФАБО на обрабатываемой поверхности формируются равномерные антифрикционные покрытия из пластичных металлов и полимерных цепей. В процессе эксплуатации под действием поверхностно активных веществ, содержащихся в моторном масле, происходит избирательное растворение нанесенного материала с образованием тонких медных покрытий, по своим физико-механическим и триботехническим свойствам близких к сервовитной пленке, характерной для эффекта безызносности. Структура сервовитной пленки содержит нанокластеры и нанофазы пластичных цветных металлов.

Надежность двигателей внутреннего сгорания зависит от износостойкости гильз цилиндров и шеек коленчатых валов. Особенно это актуально для высокофорсированных дизелей с турбонаддувом, требования к прочностным и триботехническим свойствам поверхностей трения, которых ужесточены.

Для повышения задиростойкости и износостойкости соединения «поршневое кольцо-гильза цилиндра» высокофорсированных дизелей применяют различные защитные и приработочные покрытия. При нанесении пластичного металлического покрытия на детали трущихся соединений прочность покрытия на срез оказывается меньше, чем в металле подложки. За счет этого удается снизить коэффициент трения и интенсивность изнашивания поверхности с покрытием из-за отсутствия (или уменьшения) схватывания и глубинного разрушения металла, что особенно существенно при высоких нагрузках и скоростях скольжения.

Для фрикционно-механического нанесения медьсодержащих покрытий на поверхности трения гильз цилиндров и других деталей втулочного типа разработаны специальные приспособления, полуавтоматы, автоматы и станки. На рисунке 2 приведена простейшая схема фрикционного латунирования втулки. Приспособление 4 с латунным прутком 3 крепят на борштанге 5, установленной в резцедержателе 6 токарного станка. В процессе латунирования латунный пруток прижимается к поверхности втулки 2 с усилием, соответствующим давлению 70 МПа, и перемещается вдоль втулки с подачей 0,2 мм/об. Втулка, закрепленная в патроне 2 токарного станка, вращается с окружной скоростью 0,3 м/с. Среда, состоящая из глицерина и активатора, подается в зону латунирования обычной капельницей.

Опишем режим фрикционной обработки втулки прутковым инструментом: окружная скорость поверхности детали – 0,15-0,3 м/с; давление прижатия прутка – 102-150 МПа;



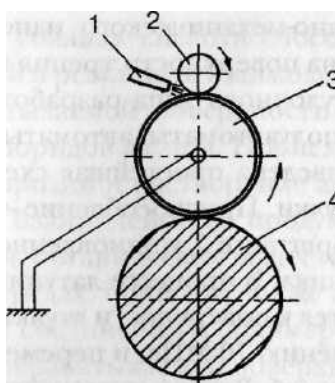
1 – токарный патрон; 2 – втулка; 3 – латунный пруток;
4 – приспособление; 5 – борштанга; 6 – держатель токарного станка

Рисунок 2 – Схема фрикционного латунирования втулки:

Рассмотренное устройство имеет низкую производительность, наблюдается нарушение равномерности покрытия и, следовательно, ухудшение шероховатости поверхности.

Применение фрикционного латунирования для коленчатых валов сдерживалось из-за отсутствия надежных высокоэффективных приспособлений.

На рисунке 3 представлена самая простейшая схема обработки наружной цилиндрической поверхности инструментом с резиновым покрытием.



1 – сопло для подачи металлоплакирующей среды; 2 – прижимной ролик;
3 – неметаллический обрабатывающий инструмент (ролик);
4 – обрабатываемая деталь продольная подача прутка – ОД – 0,2 мм/об;
число рабочих ходов – 1-2

Рисунок 3 – Нанесение покрытий натиранием неметаллическим инструментом в металлоплакирующих средах

Инструмент 3 жестко закреплен на станке и приводится во вращение электродвигателем с гибким приводом. Смазочная среда в жидком или полужидком состоянии подается от насоса через сопло 1 в зону между прижимным роликом 2 и инструментом 3. Последний прижимается к поверхности вращающейся детали 4. В качестве смазочной жидкости используется смесь глицерина и олеата меди.

Нанесение антифрикционных противоизносных покрытий позволяет существенно (более чем в три раза) снизить интенсивность изнашивания конструкционных материалов соединения «шейка коленчатого вала-вкладыш» в период приработки.

При приработке поверхностей с нанесенными антифрикционными покрытиями в первый момент времени идет интенсивная приработка с формированием оптимальной структуры поверхностных слоев.

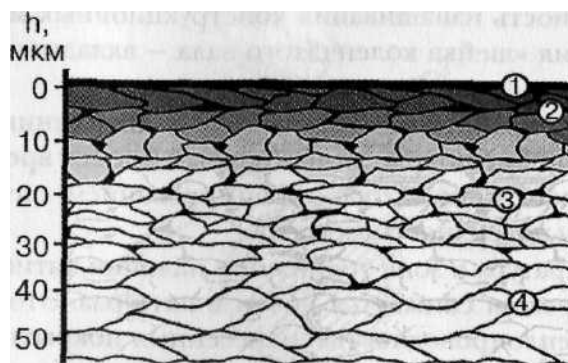
Температура в зоне трения при наличии антифрикционного покрытия снижается почти в пять раз. Это связано с лучшей теплопроводностью нанесенных покрытий и отсутствием очагов схватывания, так называемых мгновенных температурных вспышек на микроконтактах.

После фрикционного нанесения противоизносных покрытий на конструкционную сталь 45 ГОСТ 1050-90 с начальной твердостью НВ 280 обработанные поверхности приобретают наклеп с повышением твердости до НВ 375 ($H_u = 3750$ МПа). При этом зона наклепа поверхностных слоев образцов с покрытием наблюдается на глубине $h = 15-35$ мкм, чем обеспечивается положительный градиент механических свойств основы. Предел выносливости латунированных стальных образцов (550 МПа) также выше, чем необработанных (520 МПа).

Согласно металлографическим и спектральным исследованиям, структура поверхностного слоя стальной поверхности после ФАБО имеет следующие основные характерные зоны: композиционное (медь, цинк, олово) антифрикционное покрытие; переходная диффузионная зона; деформированная (наклепанная) зона; основной конструкционный материал (рис. 4).

По результатам стендовых испытаний двигателей СМД-62 (мощностью 180 кВт) с гильзами цилиндров и шейками коленчатого вала, обработанными методом ФАБО в среде СФП-3:

– эффективная мощность возрастает на 8-12 кВт за счет снижения механических потерь на трение и улучшения качества приработки деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма;



1 – композиционное антифрикционное покрытие; 2 – переходная диффузионная зона; 3 – деформированная (наклепанная) зона; 4 – основной конструкционный материал

Рисунок 4 – Схема структуры поверхностного слоя после ФАБО:

- давление масла в главной магистрали двигателя при номинальной частоте коленчатого вала повышается на 25-30 %, что указывает на более качественную приработку вкладышей коленчатого вала;
- износ деталей соединения снижается в среднем в два раза [2].

5 Результаты и перспективы финишной антифрикционной безабразивной обработки

В ходе эксплуатационных испытаний двигателей, детали которых (гильзы цилиндров, коренные и шатунные шейки коленчатых валов) были обработаны с помощью ФАБО, в хозяйствах Московской и Липецкой областей, по сравнению с типовой технологией ремонта, получены следующие результаты:

- средняя интенсивность падения давления масла в главной магистрали дизелей на номинальной частоте вращения коленчатого вала снижается на 12,5 %;
- содержание продуктов износа (железа) в пробах масла из картеров двигателей уменьшается на 34,7 %;
- расход топлива снижается на 5-10 %, что обеспечивает экономию 0,85-2,6 т топлива в год на один двигатель;
- расход моторного масла уменьшается в 1,7 раза;
- межремонтный ресурс увеличивается в 1,23 раза (с 2200 до 2700 моточасов).

В перспективе возможность нанесения нанопокровтий методом ФАБО на стальные и чугунные детали позволит осуществить замену деталей из цветных сплавов стальными и чугунными деталями с покрытием.

В одной установке для нанесения покрытия можно реализовывать несколько

вариантов метода (например, низкочастотное плазменно-ионное распыление, PECVD, PACVD). Так, для нанесения покрытий на пластмассы применяются низкотемпературные методы. Поэтому покрытие чувствительных к температуре полимеров, металлов и сплавов может выполняться в установках для нанесения защитных слоев на пластмассы. Наряду с гальваническими методами, главным образом используется PVD-метод (PVD – Physical Vapor Deposition – «физическое распыление с осаждением») и CVD-метод (CVD – Chemical Vapor Deposition – «химическое газофазное осаждение»), причем последний принципиально проще реализовать. Поскольку толщина осажденных слоев временами не превышает микрон, используются также термины «тонкопленочная техника», «тонкопленочная технология» и «тонкие пленки».

Ионно-плазменные покрытия наносятся физико-химическими методами PVD и CVD-типов. Среди методов PVD наибольшее распространение получил метод конденсации покрытий из плазмы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхностей инструмента (метод КИБ). Возможность широкого варьирования температур в зонах нанесения покрытий позволяет использовать вакуумно-плазменные методы в качестве универсальных методов для нанесения покрытий на инструменты из твердых сплавов. Эти методы универсальны и как способ получения широкой гаммы монослойных, многослойных и композиционных покрытий на базе нитридных, карбидных, карбонитридных соединений тугоплавких металлов Ti, Zr, Hf.

При PVD-методе металлы, сплавы или химические соединения осаждаются в глубоком вакууме путем подвода тепловой энергии или бомбардировки частицами. То есть материал покрытия различными способами переводится из твердого состояния в паровую фазу и затем конденсируется на поверхности подложки. К PVD-методам относят еще ионное плакирование и катодное распыление (ионно-плазменное распыление). При реализации систем PVD требуются вакуумные установки для создания давлений глубокого вакуума менее 10^5 мбар.

В основу технологии, разработанной в Московском государственном агроинженерном университете (МГАУ) имени Василия Прохоровича Горячкина, положен CVD-метод модифицирования армирующих волокон элементоорганическими соединениями (ЭОС). CVD-метод обеспечивает получение покрытий с заданными свойствами в широком диапазоне температурных режимов при высоких скоростях осаждения. Процесс экологически чист и легко поддается автоматизации. Данная технология наиболее перспективна для изготовления подшипников скольжения из композиционных материалов на основе термопла-

стов, армированных искусственными неорганическими нановолокнами.

Разработка композиционных материалов позволила произвести замену подшипников качения опорами скольжения в поворотных опорах и добиться значительно более высокого межремонтного ресурса, по сравнению с серийными образцами. Разница в ресурсах восстановленных и изготовленных подшипников объясняется большей площадью поверхности трения скольжения, а также меньшей толщиной вкладыша у изготовленных подшипников.

В последние годы успешно развивается технология осаждения композиционных гальванических покрытий (КГП). КГП получают из суспензий, представляющих собой электролит с добавкой определенного количества дисперсного порошка. При наложении электрического тока на поверхности покрываемого образца осаждаются металл (первая фаза, или матрица) и частицы порошка (вторая фаза, или упрочнитель), которые зарастаются матрицей, образуя структуру покрытия. Вместе с металлом из гальванической ванны осаждаются дисперсные частицы, волокна и усы различных карбидов, боридов, оксидов, сульфидов, порошков полимеров и т. д. Включение дисперсных материалов в металлическую матрицу значительно изменяет свойства покрытий. Гальванические покрытия с дисперсной фазой обладают уникальными свойствами и могут быть использованы для решения разнообразных задач.

Представляют интерес разработки на основе лотос-эффекта для обеспечения самоочистки лакокрасочных поверхностей автомобиля.

Немецкая фирма *Duales System Deutschland A G* одной из первых представила на проходившей в Ганновере всемирной выставке «ЭКСПО-2000» новую краску для автомобилей, обладающую самоочищающимся эффектом. Сильно загрязненную поверхность машины достаточно полить водой. Американская фирма *General Motors* также объявила о намерении использовать подобные материалы для наружной отделки автомобилей.

Легковые автомобили *Mercedes-Benz* с лакокрасочным покрытием на основе нанотехнологии отмечены наградой на специализированной выставке *Automechanika* как «самые легкомоющиеся автомобили 2004 г.». Новый прозрачный лак обеспечивает высокую и длительную прочность покрытия, а также образцовую сохранность моделей этих машин, что высоко ценится на вторичном рынке подержанных автомобилей. В структуру нового прозрачного лака включены микроскопические керамические частицы, созданные на основе нанотехнологии, которые в процессе высушивания в лакокрасочном цехе отвердевают, об-

разу на поверхности чрезвычайно плотную сетчатую структуру. Благодаря этому в три раза повышается прочность лака и обеспечивается более интенсивный и долговечный блеск покрытия. Автомобили марки Mercedes-Benz стали первыми в мире, в серийную комплектацию которых входит покрытие из прозрачного лака на основе нанотехнологии. Она применяется как для покрытий типа «металлик», так и для обработки обычных лакокрасочных покрытий.

Установлено, что включение наноалмазов в металлическое покрытие в количестве не более 1 % от массы обеспечивает эффект дисперсного упрочнения, который выражается в уменьшении размера зерна электролитического металла. Фирма General Motors объявила о намерении использовать эти материалы для наружной отделки автомобилей.

Наноструктурированные поверхности изменяют существующий подход к очистке и уходу. Интересные возможности открываются при сочетании чистящих средств и наноструктур. Так, концерн BMW на базе нанопорошков разработал самоочищающиеся автомобильные поверхности, а AUDI такие порошки уже применяет для создания прочных зеркал и отражателей, стойких к царапинам.

В заключение раздела следует отметить, что уже создано несколько материалов, которые позволяют производить покрытия, наряду с «гидробоязнью» обладающие также свойствами «маслобоязни». Они не увлажняются ни водой, ни маслом и, таким образом, могут квалифицироваться как ультра-фобные материалы и покрытия [2].

Библиографический список

- 1 Половинкин, В. Н. Наноинженерия поверхностей изделий машиностроения [Текст] / В. Н. Половинкин // Экспертный союз. – 2012. – № 3. – С. 17-23.
- 2 Наноинженерия поверхности деталей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newnano.ru/entsiklopediya/vozniknovenie-i-razvitie-nanonauki/nanozheneriya-poverhnosti-detalei.html>. – Технологии будущего.
- 3 Головин Ю. И. Введение в нанотехнику [Текст] / Головин Ю. И. – 2006. – С. 32-45.
- 4 Алфимов М. В., Разумов В. Ф. Федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002-2010 гг.» [Текст] : Российские нанотехнологии / Алфимов М. В., Разумов В. Ф. – Том 2 – № 12 – 2007. – С. 1225.