

ISSN - 2587 - 6864

# ТРУДЫ

ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ  
АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ  
ЦЕНТР ВИМ»

# ГОСНИТИ

ТОМ  
131

МОСКВА - 2018

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ МЕТОДОМ ФИНИШНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ

*Саид Насибуллович Шарифуллин, доктор технических наук, профессор  
Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
г. Казань, Российская Федерация, e-mail: saidchist@mail.ru;*  
*Павел Абрамович Тополянский, кандидат технических наук,  
заместитель генерального директора ООО «Плазмацентр»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация;*  
*Сергей Александрович Ермаков, кандидат технических наук,  
технический директор ООО «Плазмацентр»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация;*  
*Андрей Павлович Тополянский,  
генеральный директор ООО «Плазмацентр»  
Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: info@plasmacentre.ru;*  
*Аулов Вячеслав Федорович, кандидат технических наук, Федеральный  
научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация*

**Реферат.** В статье показано, что к топливной аппаратуре предъявляются повышенные требования по увеличению давления впрыска, обеспечению длительного постоянства зазоров, точного распыления топлива и его эффективного сгорания. Одновременно повышаются нормы экологичности, изменяются физико-химические свойства дизельного топлива, например, снижается содержание в нем сернистых соединений, что уменьшает смазывающую способность топлива. Также существует возможность загрязнения топлива водой, газами, технологическими примесями, микроабразивными частицами, микробиологическими организмами и продуктами их жизнедеятельности на всем пути его изготовления, транспортировки, хранения и потребления. Такое сочетание факторов требует разработки и использования новых материалов деталей топливной аппаратуры и технологий их изготовления и восстановления. В работе проведен анализ известных технологий нанесения покрытий для упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. Сформулирована методология выбора оптимального процесса нанесения покрытий с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. В соответствии с данной концепцией выбора технологии повышения долговечности деталей топливной аппаратуры финишное плазменное упрочнение с нанесением многослойных износостойких покрытий является перспективной технологией. В работе представлены результаты исследования физико-механических свойств алмазоподобных покрытий типа DLCPlateks ( $a\text{-C:H}/a\text{-SiOCN}$ ), полученных на поверхностях трения транспортировкой атомарного и молекулярного потока частиц паров жидких химических соединений плазменной струей дугового плазмотрона атмосферного давления. Образованный на рабочих поверхностях слой представляет собой неметаллическое аморфное многослойное покрытие с низким коэффициентом трения, повышенной

микротвердостью, химической инертностью, гидрофильностью, высокой жаростойкостью и диэлектрическими характеристиками. Чтобы минимизировать возможную дефектность основного материала на заключительной стадии изготовления деталей топливной аппаратуры предлагаются наносить на них тонкопленочные покрытия.

**Ключевые слова:** восстановление, покрытие, финишное плазменное упрочнение, износ, шероховатость, твердость, износостойкость, аморфность, гидрофильность, адгезионная прочность, ресурс

## RECOVERY OF FUEL DETAILS BY METHOD OF FINISHED PLASMA STIFFENING

*Said N. Sharifullin, doctor of technical sciences, professor  
Kazan (Privolzhsky) Federal University, Russian Federation*

*Pavel A. Topolyansky, Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director*

*Sergey A. Ermakov, Candidate of Technical Sciences, Technical Director*

*Andrei P. Topolyansky, General Director, Plasmacentre Ltd,*

*St. Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** In connection with the development of engines with a minimum emission of harmful substances, with reduced fuel consumption, noise level, extended warranty period of operation, increased requirements for increasing the injection pressure, ensuring long-term gaps, accurate atomization of fuel and its efficient combustion are imposed on fuel equipment. At the same time, environmental standards are increasing, the physicochemical properties of diesel fuel change, for example, the content of sulfur compounds in it decreases, which reduces the lubricity of the fuel. There is also the possibility of contaminating fuel with water, gases, technological impurities, microabrasive particles, microbiological organisms and products of their vital activity all the way of its manufacture, transportation, storage and consumption. This combination of factors requires the development and use of new materials for fuel equipment parts and technologies for their production. Unfortunately, the materials and technologies used at the present time in the manufacture of parts of domestic fuel equipment do not differ much from those used in the last century, so their development is an urgent task. In the given work the analysis of known technologies of drawing of coverings for hardening and restoration of details of fuel equipment is carried out. The methodology of selecting the optimal coating process for the purpose of hardening and restoring the details of fuel equipment is formulated. In accordance with this concept of choosing the technology for increasing the durability of fuel equipment parts, the final plasma hardening with the application of multi-layer wear-resistant coatings is accepted as the most promising and interesting technology. The paper presents the results of a study of the physical and mechanical properties of diamond-like coatings of the type DLCPateks ( $a\text{-}C: H / a\text{-}SiOCN$ ) obtained on friction surfaces by transporting the atomic and molecular flux of vapor particles of liquid chemical compounds by a plasma jet of an arc plasma torch of atmospheric pressure. The layer formed on the working surfaces is a non-metallic amorphous multilayer coating with a low coefficient of friction, increased microhardness, chemical inertness, hydrophilicity, high heat resistance and dielectric characteristics. To minimize

*the possible defectiveness of the main material, it is proposed to apply thin-film coatings to them at the final stage of manufacturing fuel equipment parts.*

**Keywords:** recovery, coating, finishing plasma hardening, wear, roughness, hardness, wear resistance, amorphous, hydrophilicity, adhesion strength, service life

**Введение.** Топливная аппаратура, используемая в различных технических средствах, оказывает важное влияние на их ресурс, надежность и экономичность работы. Многочисленными исследованиями доказано, что износ деталей топливной аппаратуры обуславливает до 30% всех отказов двигателей. Условия эксплуатации, конструкторские и технологические аспекты изготовления, а также анализ изнашивания, методы повышения долговечности деталей топливной аппаратуры досконально рассмотрены в классических работах российских ученых еще в 70-80-х годах прошлого столетия, которые актуальны и в настоящее время [1-5].

В последнее время ощущается востребованность технологий упрочнения и восстановления изнашиваемых деталей, способных продлить их ресурс, сэкономить финансовые, материальные и временные затраты потребителя. В связи с этим разработка эффективных технологий упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры также представляется перспективным направлением исследований. Этому также способствует широкое применение машин и оборудования с иностранной топливной аппаратурой, для которой использование ремонтных технологий оправдано в связи с высокими ценами на запасные части.

Практически каждый второй дизельный двигатель оснащен системами впрыска топлива высокого давления Common Rail, производимая фирмами Bosch, Delphi, Denso, Siemens и др. Разработка и исследование технологий восстановления изнашиваемых деталей этой аппаратуры является важной задачей.

Основная нагрузка на детали, работающие в условиях трения и износа, воспринимается тонким поверхностным слоем, в связи с этим наиболее часто применяются износостойкие тонкопленочные покрытия. Для рационального выбора материалов покрытий и технологий их нанесения с целью повышения ресурса, надежности, и восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры целесообразно рассмотреть условия их эксплуатации, причины износа, разработать методологию выбора оптимального покрытия и технологию его нанесения, провести исследование отдельных свойств покрытий.

Основными физическими явлениями при эксплуатации металлических деталей топливной аппаратуры являются:

- воздействие активных компонентов низкомолекулярной углеводородной жидкости (топлива) с возможным содержанием в ней воды, газов, микроабразивных частиц и микробиологических организмов;
- осевое возвратно-поступательное и вращательное движение в условиях трения скольжения, а также трение качения с проскальзыванием металла по металлу при граничной смазке и наличия в зазоре топлива;
- высокоскоростное течение топлива при повышенном давлении с возможным содержанием в нем продуктов износа, коррозии и других загрязняющих веществ;
- воздействие химических соединений высокотемпературного газово-

го потока, образуемого при сгорании топливно-воздушной смеси;

- знакопеременные, контактные, циклические, ударные и вибрационные нагрузки.

Величина износа деталей топливной аппаратуры, в большинстве случаев, не превышает 0,2-5 мкм [6, 7]. Исходя из микронных значений величин износа деталей топливной аппаратуры, их упрочнение и восстановление возможно с применением тонкопленочных покрытий.

Обеспечение максимально высокой твердости рабочих поверхностей деталей топливной аппаратуры связано с бытующим мнением адекватности их повышенной долговечности. В действительности же, при реальных условиях эксплуатации минимизация износа зависит от упругости и стойкости к деформациям поверхностного слоя не меньше, чем от твердости. Поэтому необходимыми условиями повышенной износостойкости являются максимальные значения критерииов стойкости к упругой деформации (индекс пластичности), стойкости к пластической деформации и упругого восстановления [8, 9]. Управлять этими свойствами возможно нанесением тонкопленочных покрытий с оптимальными значениями твердости и модуля упругости и имеющими одновременно повышенные антифрикционные свойства (низкий коэффициент трения, минимальная длительность приработки, тепловыделение при трении, износ трущихся поверхностей). Дополнительно такие покрытия могут обеспечивать снижение уровня возникающих напряжений, залечивание поверхностных микродефектов, предотвращать растрескивание, минимизировать трибохимические эффекты, быть термостойкими и диэлектрическими.

Основными технологическими процессами изготовления деталей топливной аппаратуры являются традиционные операции механической и термической обработки, обработка холодом, шлифования, полирования, хонингования и доводки. При этом важно отметить, что детали топливной аппаратуры, изготавливаемые из российского или импортного проката, принадлежащие одной партии, даже при использовании одного и того же материала, обработанные в тождественных условиях могут значительно различаться по долговечности. Это связывается с качеством исходного материала и последующей их термической обработки (отличием химического состава, наличием неметаллических включений, пористости, карбидной и структурной неоднородности, крупнозернистостью, характером и структурой мартенсита закалки и т.д.). Чтобы минимизировать возможную дефектность основного материала целесообразно на заключительной стадии изготовления деталей наносить тонкопленочные покрытия.

Окончательной операцией при изготовлении высокоточных деталей топливной аппаратуры является доводка алмазными порошками и пастами, в результате которой удаляются локальные прижоги и грубые риски, полученные в процессе шлифования. При этом после операций шлифования и доводки в поверхностном слое образуются, в основном, растягивающие остаточные напряжения, способствующие раскрытию микротрещин и приводящие к снижению усталостной прочности деталей. Даже сверхтонкая доводка любых кристаллических материалов не исключает дефектность поверхности и наличие микротрещин. Типичный вид поверхности после практически любой обработки с использованием абразивных материалов представлен на рис. 1.

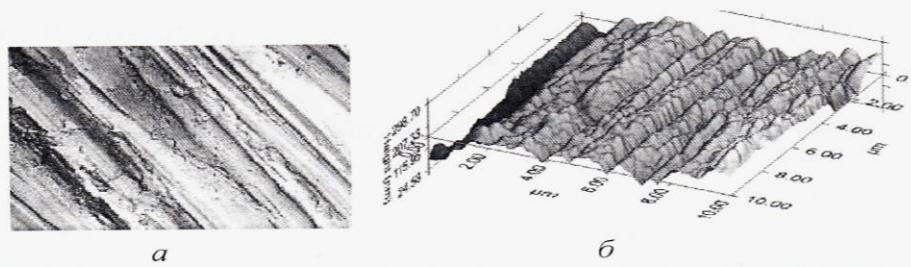


Рис. 1. Топография поверхностного слоя стали ШХ15 с твердостью HRC 62 после операций шлифования и полирования: а – вид поверхности, полученный на электронном микроскопе при анализе снимков угольных реплик, увеличение  $\times 5000$ , б – нанотопография поверхности, полученная сканирующей зондовой микроскопией

Таким образом, в качестве оценки износостойкости деталей топливной аппаратуры в зависимости от качества материалов и технологий их изготовления может служить анализ физико-механических свойств, трибологических характеристик, шероховатости и гидрофильтрности поверхностного слоя, аморфного состояния и параметров адгезионной прочности покрытия.

Известные технологии нанесения покрытий для упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры можно условно разбить на три группы в зависимости от твердости создаваемого поверхностного слоя [10-25]:

1. Твердость  $\leq 5$  ГПа (менее твердости основного материала) – фрикционно-механическое латунирование; алюмохромоfosфатирование; ионно-плазменное напыление покрытия TiN-Cu-MoS<sub>2</sub>; электрохимикомеханическая обработка с использованием реновационной жидкости в виде раствора полиэтиленгликоля с цинком; электроискровое нанесение медно-графитовых покрытий; нанесение фторорганических поверхностно активных веществ (эпиламов); нанесение металлокерамического покрытия из природных слоистых силикатов на основе геоактиваторов (вермикулита, серпентинита и др.).

2. Твердость 5-8 ГПа (порядка твердости основного материала) – электролитическое хромирование; диффузионное хромирование; нитроцементация; электролитическое и газообразное хромирование путем термораспада гексакарбонила хрома; сульфохромирование; нитроцементация с введением активизирующей обмазки.

3. Твердость  $\geq 11-12$  ГПа (превышающая твердость абразивных частиц) – ионно-плазменное напыление покрытий из TiN; электролитическое хромирование с дополнительной модификацией ультрадисперсными алмазами; электролитическое хромирование с диэлектрическим наполнителем (оксидом алюминия); ионно-плазменное напыление наноструктурированных покрытий TiN; алмазоподобные покрытия, наносимые с использованием физического (PVD) и химического (CVD) осаждения покрытий из паровой фазы; финишное плазменное упрочнение с нанесением многослойных износостойких покрытий.

Изучение приведенных выше технологий, а также конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы, связанные с износостойкостью, позволили сформулировать методологию выбора оптимального процесса нанесения покрытий с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. В соответствии с ней рассмотрим процесс фи-

нишного плазменного упрочнения (ФПУ) с нанесением алмазоподобного покрытия DLCPlateks (a-C:H/a-SiOCN) [26, 27]. Процесс ФПУ основан на разложении паров жидких химических соединений, вводимых в плазму дугового разряда, и образовании атомарного и молекулярного потока частиц в плазмоструйном реакторе. Нагрев изделий при ФПУ не превышает 150°C. В результате ФПУ на рабочих поверхностях образуется неметаллическое аморфное многослойное покрытие с низким коэффициентом трения, повышенной микротвердостью, химической инертностью, гидрофильностью, высокой жаростойкостью и диэлектрическими характеристиками.

При ФПУ также производится очистка деталей от технологических загрязнений (микрозаусенцев, частиц обрабатываемого и режущего материала, окислов металлов, компонентов притирочных паст, остатков масел, растворителей, жиров, технологических растворов, пыли, песка, влаги, продуктов разложения рабочих и технологических жидкостей, микроорганизмов и продуктов их деятельности).

Анализ показывает, что порядка 80% плунжерных пар изначально имеют повышенный зазор между плунжером и втулкой. Поэтому в процессе замены деталей при ремонте топливной аппаратуры также целесообразно производить их ФПУ с нанесением на рабочие поверхности покрытия DLCPlateks, которое уменьшит исходный зазор и будет препятствовать схватывания рабочих поверхностей.

**Цель исследований.** Показать возможности ФПУ по улучшению свойств рабочих поверхностей деталей топливной аппаратуры для сравнения с другими технологиями.

*Применяемые материалы и методика проведения исследований.*

При исследовании свойств покрытия DLCPlateks, нанесенного по технологии ФПУ, в качестве материала подложки использовалась термообработанная сталь ШХ15. Толщина нанесенного покрытия, измеренная методом калотестирования с использованием Tribotester PC101 (Плазмацентр, Россия), составляла порядка 1 мкм. Физико-механические характеристики покрытия определялись наноиндентором TI 750UBi (Hysitron, США). Коэффициент трения покрытия DLCPlateks измерялся при испытаниях на трибометре TRB-S-DE (CSM-Instruments, Швейцария) по схеме «шар-диск» с использованием шаров диаметром 3 мм, изготовленных из нитрида кремния Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Нагрузка на контрголо составляла 5 Н. Линейная скорость скольжения – 10 см/с. Путь трения – 80-100 м. При испытаниях применялось моторное масло Nissan SAE 5W-40. Исследования аморфности покрытия проводились с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM 2100 (JEOL, Япония). Для измерений параметров шероховатости по EN ISO 13565-2:1996 использовался измерительно-вычислительный комплекс «Профильт». Адгезия покрытия DLCPlateks к стали ШХ15 измерялась сканирующим нанотвердомером НаноСкан-3D (Россия) методом скречтестирования (scratch test) с определением нагрузки начала разрушения при продольном перемещении и переменном её усилии на алмазный индентор.

**Результаты и обсуждение.** Эффективность использования ФПУ основана на возможности локального нанесения покрытия в заданной зоне, а также повторном его нанесении после проверки на тест-план при недостаточной толщине.

Анализ результатов наноиндентирования выявил, что с повышением на-

грузки и, соответственно, с увеличением контактной глубины твердость уменьшается, что характеризует покрытие DLCPlateks как градиентное. В пределах одной нагрузки твердость изменяется от 14 ГПа до 23 ГПа, что свойственно многокомпонентным покрытиям. Усредненные свойства покрытия DLCPlateks: нанотвердость – 18 ГПа, модуль Юнга – 127 ГПа, упругое восстановление – 87%. На рис. 1 представлена диаграмма индентирования покрытия DLCPlateks. Стойкости поверхностного слоя к упругой деформации (индекс пластичности) НИТ/Er составляет 0,14. Модуль Юнга стали ШХ15 равен 211 ГПа. Высокое значение индекса пластичности обеспечивает повышенный ресурс в условиях циклических нагрузок, а близость значений модулей упругости покрытия и подложки способствует снижению технологических напряжений на поверхности раздела и повышению адгезионной прочности. На рис. 2 приведена диаграмма, характеризующая падающий характер изменения коэффициента трения (нижняя кривая) со временем покрытия DLCPlateks. Среднее значение коэффициента трения составляет 0,024.

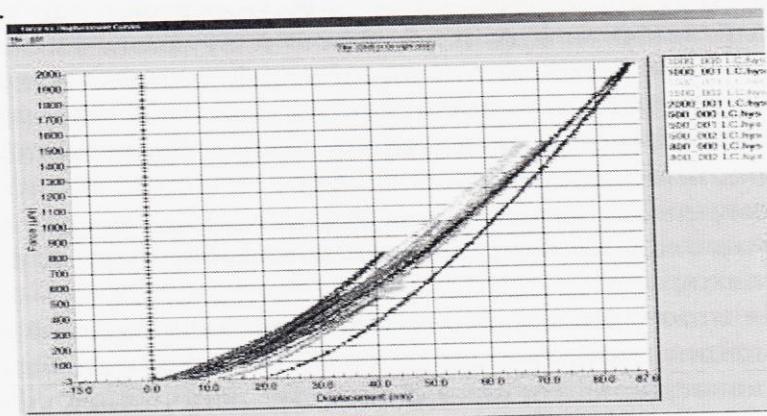


Рис. 2. Диаграммы индентирования  $F$ - $h$  при разных нагрузках покрытия DLCPlateks

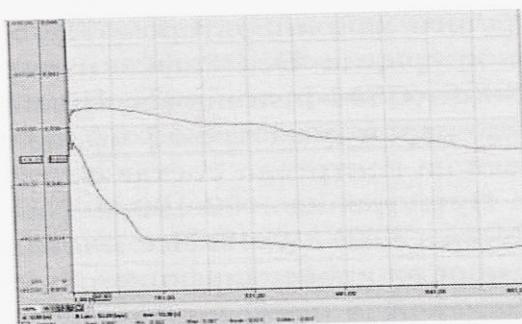


Рис. 3. Изменение коэффициента трения со временем покрытия DLCPlateks

Исследования, проведенные с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM 2100 (JEOL, Япония), показали, что покрытие DLCPlateks является аморфным (рис. 3) и представляет структуру с размером элементов 60-100 Å. Аморфное (стеклообразное) состояние материала покрытия (в отличие от кристаллического) характеризуется отсутствием границ зерен и дислокационных дефектов, обеспечивает максимально эффективное заполнение впадин профиля подложки.

Исследованиями краевого угла смачивания исходной стали ШХ15 без по-

крытия и с покрытием для разных жидкких материалов было доказано, что покрытие.

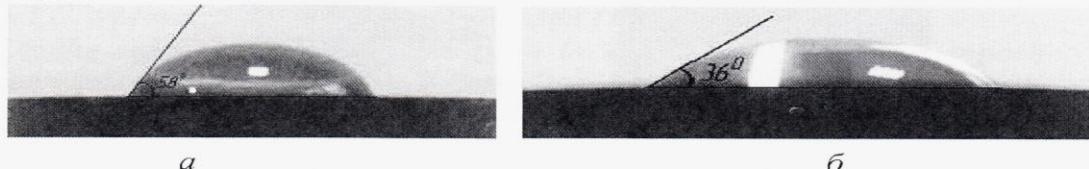


Рис. 4. Краевой угол смачивания, где а – без покрытия; б – с покрытием DLCPlateks (OCA 15EC, DataPhysics Instruments GmbH, Германия)

DLCPlateks обеспечивает более гидрофильные свойства поверхности (имеет меньший угол смачивания). Это ведет к повышению поверхностной энергии, которая увеличивает смачиваемость топлива и, соответственно, его смазывающую способность.

Адгезия покрытия DLCPlateks к стали ШХ15 определялась методом скречтестирования в соответствии с ISO 20502:2005. Измеряемая нагрузка, при которой глубина вхождения индентора в композицию «покрытие-подложка» перестаёт плавно расти, указывает на момент разрушения покрытия и характеризует его адгезию к подложке. Нагрузка разрушения покрытия DLCPlateks толщиной 1,2 мкм составила 20 мН.



Рис. 5. Профилограммы поверхности, где а – до нанесения покрытия  $R_a=0,72$ ;  $R_{max}=5,07$ ;  $Sm=116,14$ ; б – после нанесения покрытия  $R_a=0,31$ ;  $R_{max}=3,47$ ;  $Sm=35,99$  (MarSurf M 300 (Mahr GmbH, Германия)

Для измерений параметров шероховатости по EN ISO 13565-2:1996 использовался измерительно-вычислительный комплекс «Профиль». При сравнении опорных кривых после ФПУ параметр  $R_{pk}$ , характеризующий высоту выступов изнашивающихся при приработке, уменьшился в 1,3 раза; параметр  $R_k$ , характеризующий основу профиля уменьшился в 3,9 раза.

Исследования, проведенные на просвечивающем электронном микроскопе ЭММА-2 методом углеродно-серебряных реплик показали, что после нанесения покрытия DLCPlateks на поверхности полностью отсутствуют следы от предшествующей обработки (вид исходной поверхности на рис. 1а). На рис. 5, представлена нанотопография поверхности с покрытием DLCPlateks, полученная методом сканирующей зондовой микроскопии. После нанесения покрытия полностью исчезли «гребни» чередования впадин и выступов рельефа (первоначальный вид рис. 1б).

Исследования трехмерной топографии поверхности с использованием прибора MarSurf WS1 фирмы Mahr GmbH (Германия) зоны перехода покрытие DLCPlateks –подложка из стали ШХ15 также показали, что после нанесения покрытия обеспечивается залечивание глубоких впадин поверхностного рельефа (рис. 6).

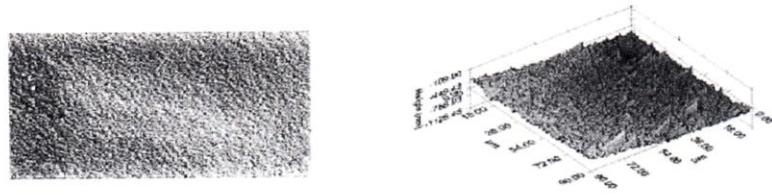


Рис. 6. Вид поверхности после нанесения покрытия DLC Pateks, x5000 (а), нанотопография покрытия DLC Pateks (TI 750Ubi, Hysitron, США) (б)

При исследовании электрических свойств покрытия DLC Pateks определено его удельное электрическое сопротивление, которое составляет 10-6 Ом·м. Данные диэлектрические характеристики покрытия должны обеспечивать отсутствие электрохимических и электромеханических явлений при трении.

Экспериментальные стендовые испытания на соответствие допускам тест-планов доказали возможность использования технологии ФПУ с нанесением покрытия DLC Pateks при восстановлении штоков и клапанов мультиплликатора, игл распылителя и клапанов форсунки топливных систем Common Rail. В настоящее время детали типа плунжер и призма с покрытием DLC Pateks проходят испытания на ООО УК «Алтайский завод прецизионных изделий» (Барнаул) на безмоторном стенде Hartridge Cri-PC.

### **Выводы**

1. Наиболее перспективными способами упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры являются процессы, исключающие последующую абразивную обработку, например, процесс ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия DLC Pateks.
2. Эффективность алмазоподобного покрытия DLC Pateks определяется его аморфным состоянием, гидрофильтральными свойствами, оптимальными физико-механическими, трибологическими и диэлектрическими характеристиками, снижением параметров шероховатости, обеспечением повышенной адгезии.

### **Библиографический список**

1. Антипов В.В. Износ плунжерных пар и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей. М.: Машиностроение. 1972. 177 с.
2. Аксенов А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях. М.: Машиностроение. 1977. 152 с.
3. Бахтиаров Н.И., Логинов В.Е. Производство и эксплуатация прецизионных пар. М.: Машиностроение. 1979. 203 с.
4. Лозовский В.Н. Надежность и долговечность золотниковых и плунжерных пар. М.: Машиностроение. 1979. 135 с.
5. Аксенов А.Ф., Лозовский В.Н. Износстойкость авиационных топливно-гидравлических агрегатов. М.: Транспорт. 1986. 239 с.
6. Бодров А.С., Катунин А.А., Маркин А.С. и др. Исследование причин выхода из строя иглы распылителя дизельных топливных форсунок // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. Материалы МНТК. 2017. Вып. 1. Тула. С. 34-40.
7. Мылов А.А., Шавыкин Ю.А. Комплектование прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей // Машиностроение и инженерное образование. №3. 2008. С. 55-63.

8. Tsui T.Y. Nanoindentation and nanoscratching of hard carbon coatings for magnetic disks /Tsui T.Y., Pharr G.M., Oliver W.C., Bhatia C.S., White R.L., Anders S., Anders A., Brown I.G. //Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 383 (1995). 767-772.
9. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour /Leyland A., Matthews A. //Wear. 2000. 246. N1-2. 1-11.
10. Адигамов Н.Р., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Шарифуллин С.Н. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей //Сварочное производство. 2016. N 2. С. 49-51.
11. Sharifullin S.N. Improving the quality indicators fuel pump of plasma technology /S.N. Sharifullin, A.S. Pirogova //IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2017. 789.
12. Solovev R.Y. Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines /R. Y. Solovev, S. N. Sharifullin, N. R. Adigamov //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. 669.
13. Sharifullin S.N., Dunayev A.V. On the mechanism of formation of wear-resistant coatings on the friction surfaces of technical products in the presence of these drugs Tribology // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016).
14. Dounaev, A., Sharifullin, S. Friction surfaces modification using tribo-compounds (2014) World Applied Sciences Journal, 31 (2). 272-276.
15. Sharifullin S.N. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma /S. N. Sharifullin, N. R. Adigamov, N. N. Adigamov, R. Y. Solovev, K. S. Arakcheeva //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. 669.
16. Kadyrmetov A.M. Features of thermal processes of plasma deposition and hardening of coatings with external modulation parameters of the arc / A.M. Kadyrmetov, S.N. Sharifullin, A.F. Maltsev //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016).
17. Сагин С.В. Триботехнические процессы, протекающие в топливной аппаратуре высокого давления судовых дизелей. //Проблемы техники. 2013. N 2. С. 33-42.
18. Бодров А.С., Катунин А.А., Марки А.С. и др. Исследование причин выхода из строя иглы распылителя дизельных топливных форсунок. //Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. Материалы МНТК. 2017. Вып. 1. Тула. С. 34-40.
19. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости плунжерных пар. Инженерия поверхности и реновация изделий. //Материалы 10-й МНТК. 24-28 мая 2010 г. – Киев: ATM Украины. 2010. С. 194 – 196.
20. Тимофеев С.С., Мовшович А.Я., Остапчук В.Н. Повышение износостойкости деталей топливной аппаратуры тепловозных двигателей. //Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 6-й Международной научно-технической конференции. 2006. Ялта-Киев. С. 143-145.
21. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Восстановление работоспособности плунжерных пар. //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. N1. С. 23-24.
22. Гайдар С.М. Восстановление рабочих параметров плунжерных пар и повышение надежности топливной системы дизельных двигателей. //Международный технико-экономический журнал. 2010. N1. С. 54-58.
23. Скобло Т.С., Клочко О.Ю., Сидашенко А.И., Плугатарев А.В., Олейник А.К. Исследование влияния ультрадисперсных алмазов при восстановлении и упрочнении деталей узлов топливной аппаратуры // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). 2015. N1. С. 106-111.
24. Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Повышение адгезии гальванических композитных покрытий, используемых при восстановлении плунжерных пар ТНВД. Труды ГОСНИТИ. М.: 2015. Т. 119. Ч 1. С. 54-60.
25. Габитов И.И., Сайфуллин Р.Н., Валиев А.Р. Упрочнение клапанных узлов электрогидравлических форсунок дизелей при ремонте. //Упрочняющие технологии и

покрытия. 2017. N7. C. 328-335.

26. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. – Санкт-Петербург: изд-во Политехнического ун-та, 2013. 406 с.

27. Загородских Б.П., Лялякин В.П., Плотников П.А. ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей // Москва, Росинформагромэте 2006. 89 с.

### References.

1. Antipov V.V. Wear of plunger pairs and violation of the characteristics of diesel fuel equipment /V.V. Antipov. M.: Mechanical engineering. 1972. 177.
2. Aksenov A.F. Friction and wear of metals in hydrocarbon liquids /A.F. Aksenov. - M .: Mechanical engineering. 1977. 152.
3. Bakhtiarov N.I. Production and operation of precision pairs /N.I. Bakhtiarov, V.E. Loginov. M.: Mechanical engineering. 1979. 203.
4. Lozovsky V.N. Reliability and durability of spool and plunger pairs /V.N. Lozovsky. - M .: Mechanical engineering. 1979. 135.
5. Aksenov A.F. Wear resistance of aviation fuel and hydraulic units /A.F. Aksenov, V.N. Lozovsky. Moscow: Transport. 1986. 239.
6. Bodrov A.S. Investigation of the causes of failure of the spray nozzle of diesel fuel injectors /A.S. Bodrov, A.A. Katunin, A.S. Markin, et al., "Problems of the study of systems and means of motor transport." Materials of MNTK. 2017. Issue. 1. Tula. 34 - 40.
7. Mylov A.A. Accumulation of precision pairs of fuel equipment for diesel engines /A.A. Mylov, Yu.A. Shavykin // Mechanical engineering and engineering education. N3. 2008. 55-63.
8. Tsui T.Y. Nanoindentation and nanoscratching of hard carbon coatings for magnetic disks /Tsui T.Y., Pharr G.M., Oliver W.C., Bhatia C.S., White R.L., Anders S., Anders A., Brown I.G. //Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 383 (1995). 767-772.
9. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour /Leyland A., Matthews A. //Wear. 2000. Vol. 246. N1 2. 1-11.
10. Adigamov N.R. Plasma technologies in increasing the efficiency of high-pressure fuel pumps of diesel engines /N.R. Adigamov, V.P. Lyalakin, R.Yu. Soloviev, S.N. Sharifullin. // Welding production. 2016. N2. 49-51.
11. Sharifullin S.N. Improving the quality indicators fuel pump of plasma technology /S.N. Sharifullin, A.S. Pirogova //IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2017. V. 789. doi:10.1088/1742-6596/789/1/012051
12. Solovev R.Y. Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines /R.Y. Solovev, S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 669. doi:10.1088/1742-6596/669/1/012050.
13. Sharifullin S.N. On the mechanism of formation of wear-resistant coatings on the friction surfaces of technical products in the presence of these drugs Tribology / S.N. Sharifullin, A.V. Dunayev //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016). doi:10.1088/1757-899X/134/1/012025.
14. Dounaev, A., Sharifullin S. Friction surfaces modification using tribo-compounds (2014) World Applied Sciences Journal, 31(2), 272-276.
15. Sharifullin S.N. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma /S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov, N.N. Adigamov, R.Y. Solovev, K.S. Arakcheeva //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 669. doi:10.1088/1742-6596/669/1/012049.
16. Kadyrmetov A.M. Features of thermal processes of plasma deposition and hardening of coatings with external modulation parameters of the arc / A.M. Kadyrmetov, S.N. Sharifullin, A.F. Maltsev //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134

(2016). doi:10.1088/1757-899X/134/1/012009.

17. Sagin S.V. Tribotechnical processes occurring in the fuel equipment of high pressure marine diesel engines /S.V. Sagin. //Glimpses of technology. 2013. N2. 33-42.
18. Bodrov A.S. Investigation of the causes of failure of the needle of the atomizer of diesel fuel injectors /A.S. Bodrov, A.A. Katunin, A.S. Markin and etc. // Problems of research of systems and means of motor transport. Materials MNTC. 2017. Vol. 1. Tula. 34-40.
19. Timofeev S.S. Increase of wear resistance of plunger pairs. Surface engineering and renovation of products /S.S. Timofeev. //Proceedings of 10-th international science-technical conference. May 24-28, 2010. -Kyiv: ATM of Ukraine. 2010. 194-196.
20. Timofeev S.S. Improvement of wear resistance of parts of fuel equipment of diesel engines /S.S. Timofeev, A.Y. Movshovich, V.N. Ostapchuk/ //surface Engineering and renovation of products. Materials of the 6th international scientific and technical conference. 30.05-01.06. 2006. Yalta-Kiev. 143-145.
21. Lebedev A.T. Recovery of the plunger /A.T. Lebedev, P.A. Lebedev. // Mechanization and electrification of agriculture. 2010. N1. 23-24.
22. Gaidar S.M. Restoration of the operating parameters of plunger pairs and improving the reliability of the fuel system of diesel engines /S.M. Gaidar. //The international technical-economic journal. 2010. N1. 54-58.
23. Skoblo T.S. A study of the influence of ultradispersed diamonds with the restoration and hardening of parts of the nodes of fuel equipment /T.S., Skoblo, O. Y. Klochko, A.I., Sidorenko, A.V. Plugatarev, A.K. Olejnik. //Problems of Tribology. 2015. N1 106-111.
24. Jackin C. S. Increase of adhesion of electroplated composite coatings used in the restoration plunger pairs fuel pump /S.U. Jacquin, M.N. Krasnova, N.A. Pen'kov, A.I. Krasnov. – Proceedings of GOSENITI. Moscow: 2015. T. 119, H 1. 54-60.
25. Gabitov I.I. Hardening of valve assemblies electro-hydraulic injectors of diesel engines at repair /I.I. Gabitov, R.N. Saifullin, A.R. Valiev. // Hardening technology and coatings. 2017. N7. 328-335.
26. Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topolyanskii P.A. Plasma Technology. Saint-Petersburg. Publishing of the Polytechnic University. 2013. 406.
27. Zagorodsky B.P. Lyalyakin V.P., Plotnikov P.A. Repair and regulation of fuel injection equipment tractor and combine diesels // Moscow, 2006 Rosinformagrotekh. 89.