

**КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ, НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ****Шарифуллин С.Н., Адигамов Н.Р., Тополянский П.А., Байниязова А.Т.**

**Реферат.** В процессе эксплуатации любое техническое изделие, имеющее узлы трения, по мере изнашивания деталей теряет свою работоспособность и в результате не может выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации. На сегодня во всем мире исчерпаны технологические возможности изготовления различных машин и механизмов без заметного износа сопрягаемых поверхностей узлов трения. Износ практически исключить невозможно. Поэтому поиск новых способов для продления ресурса работы технических устройств путем воздействия на поверхности трения является актуальной задачей. Эти требования относятся и к топливной аппаратуре автотракторных и комбайновых дизельных двигателей. В данной 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 DLCPateks (a-C:H/a-SiOCN), полученных на поверхностях трения транспортировкой атомарного и молекулярного потока частиц паров жидких химических соединений плазменной струей дугового плазмотрона атмосферного давления. Образующийся 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 предлагается наносить на них тонкопленочные покрытия.

**Ключевые слова:** восстановление, покрытие, финишное плазменное упрочнение, износ, шероховатость, твердость, износостойкость, ресурс.

**Введение.** Топливная аппаратура включает в себя топливный насос высокого давления (ТНВД), муфту опережения впрыскивания топлива (АМОВТ), регулятор подачи количества топлива в цилиндры (РОВ), топливный насос низкого давления (ТННД) и форсунки. Практика показывает, что порядка 25-30 % всех отказов дизельных двигателей приходится на топливную аппаратуру. Из этих отказов 60 % доли приходится на ТНВД (рисунок 1). У ремонтников принято считать, что основной износ в ТНВД связан с плунжерной парой. Однако исследования показали, что большинство подвижных сопряжений при первом же техническом обслуживании ТНВД требуют восстановления своих геометрических размеров (рисунок 2). Лишь часть подвижных сопряжений (поз. 5,6,8 – 11) могут находиться в пределах своих допустимых параметров до следующего технического обслуживания. Следовательно, при ремонте ТНВД возникает необходимость восстановления не только плунжерных пар, но и всех деталей его кинематической цепи [1].

В связи с этим разработка эффективных технологий упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры является перспективным направлением исследований [1 – 11].

Величина износа деталей топливной аппаратуры, в большинстве случаев, не превышает 0,2-5 мкм, поэтому возможно применение тонкопленочных покрытий при их восстановлении.

Топография поверхностного слоя стали ШХ-15 представлена на рис. 3. Условия эксплуатации ТНВД облегчают деформирование (пластифицирование) поверхностного слоя деталей трибосопряжений (эффект Ребиндера). При этом пленка топлива в условиях минимальных зазоров имеет тенденцию к разрыву, что приводит к схватыванию выступов одной поверхности трения с другой [12]. С целью обеспечения антисхватывающих свойств целесообразно на поверхности трения наносить химически инертные покрытия, например, из неметаллических материалов.

В качестве оценки износостойкости деталей топливной аппаратуры в зависимости от качества материалов и технологий их изготовления может служить анализ физико-механических свойств поверхностного слоя, трибологических характеристик в условиях трения скольжения, параметров шероховатости, распределения технологических остаточных напряжений по глубине и результатов испытаний на микроабразивный износ.

**Применяемые материалы и методика проведения исследований.** При исследовании свойств покрытия DLCPateks, 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

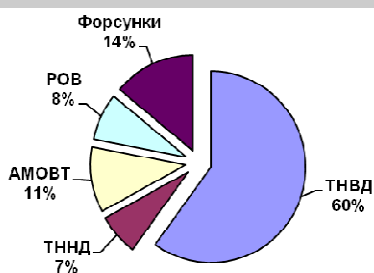


Рисунок 1 – Распределение отказов топливной аппаратуры по узлам

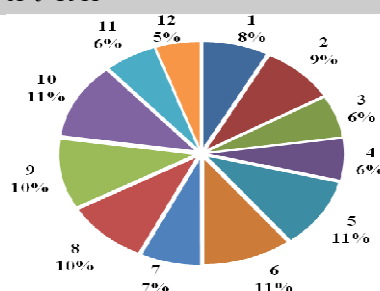


Рисунок 2 – Распределение отказов подвижных сопряжений элементов кинематической цепи привода ТНВД

определялись наноиндентором TI 750Ubi (Hysitron, США). Коэффициент трения покрытия DLCpateks 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 контроло 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 измерительный комплекс «Профиль». Адгезия покрытия DLCpateks к стали ШХ15 измерялась сканирующим наноиндентором НаноСкан-3D (Россия) методом скреч-тестирования (scratch test) с определением нагрузки начала разрушения при продольном перемещении и переменном её усилии на алмазный индентор Берковича.

#### Результаты исследований и их обсуждение.

Анализ существующих технологий получения износостойких тонкопленочных покрытий для упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры позволяет их условно разбить на три группы:

#### 1. Твердость ≤ 5 ГПа (менее твердости основного материала)

##### - Фрикционно-механическое латунирование.

Недостатки – повышенная трудоемкость из-за индивидуальной обработки деталей, неэффективность применения для серийных изделий.

##### - Алюмохромофосфатирование.

Недостатки – многостадийность, высокая температура (600-620°С) и длительность процесса.

- Электрохимико-механическая обработка с использованием реновационной жидкости в виде раствора полиэтиленгликоля с цинком. Недостатки – сложность контроля за изменением геометрических размеров деталей топливной аппаратуры, временем их повышенной долговечности, трудность определения необходимого количества реновационной жидкости для длительной эксплуатации.

- Ионно-плазменное напыление покрытия TiN-Cu-MoS<sub>2</sub>. Недостатки – возможность снижения твердости деталей с низкой температурой отпуска из-за повышенных температур процесса, не высокая адгезионная прочность покрытия.

- Электроискровое нанесение меднографитовых покрытий. Недостатки - необходимость окончательной операции доводки, наведение растягивающих напряжений в поверхностном слое, возможная несплошность покрытия.

Позиции: 1 – корпус нагнетательного клапана и его клапан; 2 – плунжер плунжерной пары и ее втулка; 3 – втулка плунжерной пары и пружина толкателя; 4 – пружина толкателя и тарелка пружины толкателя; 5 – торец плунжера и пята толкателя; 6 – корпус толкателя и корпус ТНВД; 7 – ось ролика толкателя и корпус толкателя; 8 – ось ролика толкателя и опорная втулка толкателя; 9 – опорная втулка толкателя и ролик толкателя; 10 – ролик толкателя и кулачок кулачкового вала; 11 – кулачковый вал и подшипник кулачкового вала; 12 – подшипник кулачкового вала и крышка подшипника

- Нанесение фторорганических поверхностно активных веществ (эпиламов). Недостатки – сложность контроля за изменением геометрических размеров деталей топливной аппаратуры, временем их повышенной долговечности, трудность определения необходимого количества эпилама для длительной эксплуатации.

- Нанесение металлокерамического покрытия из природных слоистых силикатов на основе геоактиваторов (вермикулита, серпентинита и др.). Нанесение покрытий из геоактиваторов осуществляется на предварительно хромированную поверхность фрикционным методом за счет прижатия неподвижного индентора к вращающейся детали и подачи капельным методом модифицирующего состава совместно с дизельным топливом. Недостатки – предварительное хромирование ведет к необходимости шлифовки, притирки, доводки поверхностей, газонасыщению кислородом, наводораживанию, крупнозернистости структуры, пористости, высоким растягивающим остаточным напряжениям. Последующее слоистое покрытие из геоактиваторов трудно поддается контролю качества, имеет не высокие адгезионные характеристики.

#### 2. Твердость 5-8 ГПа (порядка твердости основного материала)

электролитическое хромирование. Недостатки – необходимость окончательной шлифовки, притирки, доводки поверхностей, газонасыщение кислородом, наводораживание, крупнозернистость структуры, пористость, высокие растягивающие остаточные напряжения.

- Диффузионное хромирование. Недостатки – повышенная температура процесса (порядка 1000°С), необходимость окончательной шлифовки, притирки и доводки поверхностей.

- Электролитическое и газообразное хромирование путем термораспада гексакарбонила хрома. Недостатки – повышенная температура процесса (400-420°С), необходимость окончатель-

ной шлифовки, притирки и доводки поверхностей.

- **Нитроцементация.** Недостатки – высокая продолжительность обработки, повышенная температура процесса (более 800°C), необходимость окончательной шлифовки, притирки, доводки поверхностей, газонасыщение кислородом.

- **Нитроцементация с введением активизирующей обмазки.** Недостатки – высокая длительность, повышенная температура (более 800°C), необходимость окончательной шлифовки, притирки, доводки поверхностей, газонасыщение кислородом.

- **Сульфохромирование.** Недостаток – многостадийность, повышенная температура и длительность процесса.

### 3. Твердость $\geq 11-12$ ГПа (превышающая твердость абразивных частиц)

- **Электролитическое хромирование с диэлектрическим наполнителем (оксидом алюминия).** Недостатки – образование дополнительных продуктов износа из абразивных частиц оксида алюминия, необходимость окончательной шлифовки, притирки, доводки поверхностей, газонасыщение кислородом, наводораживание.

- **Ионно-плазменное напыление покрытий из TiN.** Недостатки – повышенный коэффициент трения, низкая адгезионная прочность при нанесении покрытий на материалы с низкой температурой отпуска, возможная разнотолщинность покрытия.

- **Ионно-плазменное напыление наноструктурированных покрытий TiN.** Недостатки – повышенный коэффициент трения, низкая адгезионная прочность при нанесении покрытий на материалы с низкой температурой отпуска, возможная разнотолщинность покрытия.

- **Июкрытия, наносимые с использованием физического (PVD) и химического (CVD) осаждения покрытий из паровой фазы.** Ведущие мировые компании, оказывающие услуги на рынке напыления деталей автокомпонентов, наносят на детали топливной аппаратуры двухэлементные, трехэлементные, алмазоподобные и другие виды покрытий толщиной 1-2 мкм.

Недостатки – многостадийность, сложность и дороговизна оборудования, большое количество обслуживающего персонала, возможная повышенная шероховатость за счет микрокапельной фазы, низкая адгезионная прочность PVD процессов при температурах процесса менее 200°C.

Максимально эффективными, по мнению зарубежных специалистов, являются алмазоподобные покрытия, наносимые методом PACVD (химическое осаждение покрытий с плазменной активацией) при температуре процесса менее 200°C с использованием газов силана ( $\text{SiH}_4$ ) и смеси метана с водородом. Покрытие имеет твердость порядка 16 ГПа, коэффициент трения – 0,02-0,06.

- **Финишное плазменное упрочнение с нанесением многослойных износостойких покрытий.** Метод относится к PACVD процессам. Недостатки – зависимость воспроизводимости процесса от большого количества технологических параметров, необходимость оптимизации общей толщины покрытия и толщины монослоя покрытия, выбора оптимальных технологических реагентов и их расходов.

Рассмотренные выше технологии, а также кон-

структивные, технологические и эксплуатационные факторы, связанные с износостойкостью, позволили сформулировать методологию выбора оптимального процесса нанесения покрытий с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры:

- технология должна быть финишной операцией, исключаящей любую окончательную абразивную (доводочную) обработку и обеспечивающей создание на поверхности сжимающих остаточных напряжений (практически все известные технологии упрочнения требуют доводки рабочих поверхностей со всеми негативными последствиями в связи с образованием микротрещин, растягивающих напряжений и уменьшением усталостной прочности);

- на рабочих поверхностях должно формироваться аморфное неметаллическое покрытие с повышенной адгезионной прочностью к подложке толщиной до 2 мкм, с максимальными значениями стойкости к упругой деформации или индексом пластичности ( $H_{\text{IT}}/E_r$ ), стойкости к пластической деформации ( $H_{\text{IT}}^3/E_r^2$ ), упругого восстановления ( $\eta_{\text{IT}}$ ) и модулем упругости близким к модулю упругости подложки;

- рабочие поверхности с покрытием должны иметь минимальные трибологические характеристики (коэффициент трения, температура в зоне трения, длительность приработки, параметры износа);

- коэффициент износа в условиях микроабразивного изнашивания, определяемый по EN 1071-6:2007, должен иметь минимальное значение;

- параметры шероховатости по EN ISO 13565-2:1996, характеризующие высоту выступов ( $R_{\text{pk}}$ ) и основу профиля ( $R_k$ ) должны иметь минимальные значения;

- рабочие поверхности должны характеризоваться повышенными гидрофильными свойствами (меньшим углом смачивания), обеспечивающими максимальные смазывающие свойства топлива и обеспечивать диэлектрические характеристики, способствующие исключению электромеханического износа.

В соответствии с данной концепцией выбора технологии повышения долговечности деталей топливной аппаратуры рассмотрим финишное плазменное упрочнение (ФПУ) с нанесением алмазоподобного покрытия DLCPateks (a-C:H-SiOCN) [13]. 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 может производиться очистка деталей от технологических загрязнений и размерное скругление острых кромок. Из анализа состояния плунжерных пар, поступающих в качестве запасных частей, известно, 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 ра-

бочие поверхности покрытия DLCPateks, которое уменьшит исходный зазор и будет препятствовать схватыванию рабочих поверхностей.

Анализ результатов наноиндентирования выявил, что с повышением нагрузки и, соответственно, с увеличением контактной глубины твердость уменьшается, что характеризует покрытие DLCPateks как градиентное. В пределах одной нагрузки твердость изменяется от 14 ГПа до 23 ГПа, что свойственно многокомпонентным покрытиям. Усредненные свойства покрытия DLCPateks: нанотвердость – 18 ГПа, модуль Юнга – 127 ГПа, упругое восстановление – 87%. Стойкость поверхностного слоя к упругой деформации (индекс пластичности)  $H_{IT}/E_r$  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. Среднее значение коэффициента трения составляет 0,024.

После нанесения покрытия DLCPateks параметры шероховатости поверхности улучшаются. 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 трехмерной топографии поверх-

ности с использованием прибора MarSurf WS1 фирмы Mahr GmbH (Германия) зоны перехода покрытие DLCPateks – подложка из стали ШХ15 также показали, что после нанесения покрытия обеспечивается залечивание глубоких впадин поверхностного рельефа.

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

**Выводы.** 1. Произведена классификация тонкопленочных покрытий для упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры по их твердости: менее твердости основного материала ( $\leq 5$  ГПа), порядка твердости основного материала (5-8 ГПа) и превышающая твердость абразивных частиц ( $\geq 11-12$  ГПа).

2. Наиболее перспективными способами упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры являются процессы, исключаящие последующую абразивную обработку, например, процесс ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия DLCPateks.

3. Эффективность алмазоподобного покрытия DLCPateks определяется его аморфным состоянием, гидрофильными свойствами, оптимальными физико-механическими, трибологическими и диэлектрическими характеристиками, созданием сжимающих напряжений на поверхности, снижением параметров шероховатости, обеспечением повышенной адгезии.

#### Литература

1. Шарифуллин С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей: дис... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Шарифуллин Саид Насибуллович. – М., 2009. – 369 с.
2. Тополянский П.А. Испытания трибологических покрытий на микроабразивное изнашивание / П.А. Тополянский, С.А. Ермаков, А.П. Тополянский. // Механика и трибология транспортных систем. Ростов-на-Дону, 8-10.11.2016 г.: в 2 т. – Ростов н/Д: ФГБОУ ВО РГУПС. – 2016. – Т. 2. – С. 217 – 223.
3. Адигамов Н.Р. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей / Н.Р. Адигамов, В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, С.Н. Шарифуллин. // Сварочное производство. – 2016. – № 2. – С. 49 – 51.
4. S.N. Sharifullin. 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
5. R. Y. Solovev 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.
6. 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 Tribo / S.N. Sharifullin, A.V. Dunayev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016). doi:10.1088/1757-899X/134/1/012025.
7. Dounaev, A., Sharifullin, S. Friction surfaces modification using tribo-compounds (2014) World Applied Sciences Journal, 31 (2), pp. 272-276.
8. 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.
9. Варнаков Д.В. Теоретические основы концепции технического сервиса машин по фактическому состоянию на основе оценки их параметрической надежности // Д.В. Варнаков, О.Н. Дидманидзе // Аграрная наука Евро-Северо-востока – 2017. – №2(57). – С. 67-71.
10. Варнаков В.В. Улучшение эксплуатационных свойств углеводородных топлив на основе резонансного крекинг-процесса как способ повышения эффективности работы двигателя / В.В. Варнаков, О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков, Е.В. Ботоногов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2009. – №6. – С. 20-23.
11. Жачкин С.Ю. Повышение адгезии гальванических композитных покрытий, используемых при восстановлении плунжерных пар ТНВД / С.Ю. Жачкин, М.Н. Краснова, Н.А. Пеньков, А.И. Краснов. // Труды ГОСНИТИ. – М, 2015. – Т. 119. – Ч 1. – С. 54 – 60.
12. Лозовский В.Н. Надежность и долговечность золотниковых и плунжерных пар / В.Н. Лозовский. – М.: Машиностроение. – 1979. – 135 с.
13. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та. 2013. – 406 с.

#### Сведения об авторах:

Шарифуллин Саид Насибуллович – доктор технических наук, профессор, e-mail: saidchist@mail.ru  
 ФГБОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Адигамов Наиль Рашатович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация и ремонта машин», e-mail: n-adigamov@rambler.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

Тополянский Павел Абрамович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора

ООО «Плазмацентр», г. Санкт-Петербург, Россия

Байниязова Акмарал Таскараевна – аспирант, e-mail: akmabay@mail.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

## CLASSIFICATION OF STRENGTHENING TECHNOLOGIES, COVERING AND RESTORATION OF FUEL EQUIPMENT DETAILS OF DIESEL ENGINES

Sharifullin S.N., Adigamov N.R., Topolyansky P.A., Bayniyazova A.T.

**Abstract.** During operation, any technical product with friction units, as parts wear out, loses its working capacity and as a result cannot perform the specified functions with the parameters, established by the requirements of technical documentation. Today, the technological capabilities of manufacturing various machines and mechanisms have been exhausted throughout the world without noticeable wear on the mating surfaces of friction units. Depreciation is practically impossible to exclude. Therefore, a search for new ways to extend the life of technical devices by exposing them to friction surfaces is an urgent task. These requirements apply to the fuel equipment of automotive and combine diesel engines. In this paper, we analyze the known covering technologies for hardening and restoration of fuel equipment parts. The methodology of choosing the optimal covering process with the aim of hardening and restoration of parts of fuel equipment is formulated. In accordance with this concept of choosing a technology to increase the durability of fuel equipment parts, plasma finish hardening with the application of multilayer wear-resistant coatings is a promising technology. The paper presents the results of a study of the physicomechanical properties of diamond-like coverings of the DLC/Pateks type (a-C:H/a-SiOCN) obtained on friction surfaces by transporting an atomic and molecular stream of particles of liquid chemical compounds by a plasma jet of an atmospheric pressure plasma arc torch. The layer formed on the working surfaces is a non-metallic amorphous multilayer covering with a low coefficient of friction, increased microhardness, chemical inertness, hydrophilicity, high heat resistance and dielectric characteristics. In order to minimize possible defectiveness of the base material at the final stage of manufacturing parts of fuel equipment, it is proposed to apply thin-film coatings on them.

**Key words:** restoration, covering, finish plasma hardening, wear, roughness, hardness, wear resistance, resource.

### References

1. Sharifullin S.N. *Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti toplivnykh nasosov vysokogo davleniya avtotraktornykh dizelnykh dvigateley: dis... d-ra tekhn. nauk: 05.20.03.* (Improving the operational reliability of high-pressure fuel pumps of automotive diesel engines: dissertation for a degree of Doctor of Technical sciences: 05.20.03). /Sharifullin Said Nasibullovich. – M., 2009. – P. 369.
2. Topolyanskiy P.A. *Ispytaniya tribologicheskikh pokrytiy na mikroabrazivnoe iznashivanie. // Mekhanika i tribologiya transportnykh sistem.* [Tests of tribological coatings for microabrasive wear. / P.A. Topolyansky, S.A. Ermakov, A.P. Topolyansky. // Mechanics and tribology of transport systems]. Rostov-on-Don, November 8-10, 2016: in 2 volumes. – Rostov n/D: FGBOU VO RGUPS. – 2016. – Vol. 2. – P. 217 – 223.
3. Adigamov N.R. Plasma technology in increasing the efficiency of high-pressure fuel pumps of diesel engines. [Plazmennyye tekhnologii v povyshenii effektivnosti raboty toplivnykh nasosov vysokogo davleniya dizelnykh dvigateley]. / N.R. Adigamov, V.P. Lyalyakin, R.Yu. Solovev, S.N. Sharifullin. // Svarochnoe proizvodstvo. *Welding production.* – 2016. – № 2. – P. 49 – 51.
4. S.N. Sharifullin. 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
5. R. Y. Solovev 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.
6. 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 Tribo / S.N. Sharifullin, A.V. Dunayev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016). doi:10.1088/1757-899X/134/1/012025.
7. Dounaev, A., Sharifullin, S. Friction surfaces modification using tribo-compounds (2014) World Applied Sciences Journal, 31 (2), P. 272-276.
8. 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.
9. Varnakov D.V. Theoretical foundations of the concept of technical service of machines in actual condition based on an assessment of their parametric reliability [Teoreticheskie osnovy koncepcii tekhnicheskogo servisa mashin po fakticheskomu sostoyaniyu na osnove ocenki ih parametricheskoy nadezhnosti] // D.V. Varnakov, O.N. Didmanidze // Agrarnaya nauka Evro-Severo-vostoka. – Agricultural Science Euro-North-East – 2017. – №2(57). – P. 67-71.
10. Varnakov V.V. Improving the operational properties of hydrocarbon fuels based on resonance cracking process as a way to increase engine efficiency [Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv uglevodorodnykh topliv na osnove rezonansnogo kreking-processa kak sposob povysheniya effektivnosti raboty dvigatelya] // *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. – Repair, Reconditioning, Modernization.* – 2009. – №6. – C. 20-23.
11. Zhachkin S.Yu. *Povyshenie adgezii galvanicheskikh kompozitnykh pokrytiy, ispolzuemykh pri vosstanovlenii plunzhernykh par TNVD. // Trudy GOSNITI.* [Improving the adhesion of galvanic composite covering used in the restoration of plunger pairs of high pressure fuel pumps]. / S.Yu. Zhachkin, M.N. Krasnova, N.A. Penkov, A.I. Krasnov. // Proceedings of GOSNITI]. – M.: – 2015. – Vol. 119. – Part 1. – P. 54 – 60.
12. Lozovskiy V.N. *Nadezhnost i dolgovechnost zolotnikovyykh i plunzhernykh par.* [Reliability and durability of spool and plunger pairs]. V.N. Lozovskiy. – M.: Mashinostroenie. – 1979. – P. 135.
13. Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topolyanskiy P.A. *Plazmennyye tekhnologii. Rukovodstvo dlya inzhenerov.* [Plasma technology. Manual for engineers]. Sankt-Peterburg: Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta. 2013. – P. 406.

### Authors:

Sharifullin Said Nasibullovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: saidchist@mail.ru

Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia

Adigamov Nail Rashatovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Machines' Operation and Repair, e-mail: n-adigamov@rambler.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Topolyanskiy Pavel Abramovich – Ph.D. of Technical sciences, deputy general director of LLC “Plazmatsentr”, St. Petersburg, Russia

Bayniyazova Akmaral Taskaraevna – post graduate student, e-mail: akmabay@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia