

ление изношенных деталей и изготовление недостающих, сбор, ремонт и продажа подержанной техники, подготовка кадров, распространение передового опыта, достижений науки и техники, а также маркетинговые исследования. Это и есть основная номенклатура работ, которую выполняют лучшие дилерские предприятия за рубежом.

Однако в нашей стране полноценного дилера сельскохозяйственной техники в настоящее время не просматривается. В настоящее время вопрос зоны действия дилерских пунктов полностью не изучен. Рассмотрены лишь отдельные моменты размещения центров технического сервиса на базе существующей ремонтно-технической базы. При этом большее внимание уделялось не столько вопросам формирования зоны обслуживания центра, сколько выбору места для строительства ремонтно-обслуживающего предприятия, расчета расстояний доставки объектов ремонтного фонда и определения рациональной организационной формы. В то же время, отечественный и зарубежный опыт показывают, что система технического обслуживания дилера, занимающегося сервисом сельскохозяйственной техники, должна находиться ближе к товаропроизводителю.

#### **Список использованных источников**

1. Катаев Ю.В., Малыха Е.Ф., Вялых Д.Г. Организация технического сервиса машинно-тракторного парка на региональном уровне // Наука без границ. 2017. № 11(16). С. 60–64.
2. Конкин Ю.А., Малыха Е.Ф. Корректирование экономической оценки износа машины в связи с изменением топливной экономичности и оплаты труда // Международный научный журнал. 2011. № 3. С. 5–10.
3. Малыха Е.Ф. Актуальные проблемы технического сервиса зарубежной техники // Известия Международной академии аграрного образования. 2015. Т. 1. № 25. С. 120–122.

**УДК 621.785**

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ**

*Студент – Курило А.А., 39 тс, 4 курс, ФТС  
Научный*

*руководитель – Сёмин Е.В., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь.*

**Аннотация.** В статье приведена оценка технологических методов повышения надежности и износостойкости прецизионных деталей топлив-

ной аппаратуры на примере плунжерной пары топливного насоса высокого давления, приведены их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** топливная аппаратура; износ; анализ; топливный насос высокого давления; прецизионная пара; вакуумно-плазменное напыление.

Несмотря на многоуровневую очистку топлива, часть твердых частиц проходит вместе с топливом под высоким давлением с большой скоростью через малые зазоры, что приводит к интенсивному изнашиванию прецизионных деталей топливной аппаратуры. В результате чего нарушается нормальная работа топливной аппаратуры и, как следствие, ухудшаются технико-эксплуатационные показатели двигателя [1].

Прецизионные детали топливной аппаратуры изготавливаются с большой точностью, а в сопряжении допускаются зазоры не более 3 мкм, поэтому даже незначительные износы рабочих поверхностей этих деталей нарушают оптимальную работу топливного насоса высокого давления.

Анализ работы прецизионных деталей топливной аппаратуры показал, что их надежность и износостойкость в большей степени зависят от поверхностной твердости сопрягаемых деталей, а повышение последней является одним из основных факторов повышения работоспособности сопряжения.

Значительный интерес для улучшения надежности и долговечности прецизионных пар топливной аппаратуры представляют методы нанесения износостойких покрытий: вакуумно-плазменное напыление, диффузионная металлизация, нанесение фторосодержащих поверхностно-активных веществ (ПАВ) и др.

По данным ряда исследований [1-4] для повышения твердости деталей широкое распространение получила химико-термическая обработка, как более простой и относительно недорогой метод повышения твердости до 60–62 HRC. Основными недостатками данного метода являются: обезуглероживание поверхностного слоя, анизотропия свойств по сечению деталей и отпускная хрупкость. В результате не обеспечивается необходимая износостойкость и сопротивляемость схватыванию прецизионных пар. Поэтому на практике приходится изыскивать другие более дорогие и трудоемкие методы обработки, обеспечивающие большую износостойкость деталей.

Известен метод, повышающий надежность и износостойкость плунжеров, клапанов и игл распылителей топливной аппаратуры является электрохимическое хромирование [4]. Нанесение покрытий проводилось при температуре электролита 50 °С, плотности тока 50–100 А/дм в течение одного часа. При этом толщина покрытия составила 35–50 мкм. При осаждении хрома на шлифованную поверхность деталей структурные изменения в их материале не наблюдались, однако в слое хрома имелись макро-

и микротрещины, являющиеся результатом сцепления хрома с основой, вследствие образования в поверхностном слое покрытия растягивающих остаточные напряжения. Кроме этого, установлена нестабильность микротвердости покрытия в пределах 750...1100 кгс/мм<sup>2</sup>, что связано с остаточными напряжениями в покрытии. Несмотря на повышение износостойкости прецизионных деталей в 2–3 раза в результате применения электролитического хромирования, этот метод, в связи с указанными выше существенными недостатками, не получил распространения в серийном производстве.

Для повышения износостойкости плунжерных пар более рационально, чем электролитическое хромирование, использовать химическое никелирование [3]. Этот метод обеспечивает повышение микротвердости до 930 кгс/мм<sup>2</sup> при термообработке до 400 °С. По сравнению с хромированием, химическое никелирование обеспечивает меньший износ сопряженной детали пары (штулки, работающей совместно с никелированным плунжером). Кроме того, слой покрытия ложится на деталь более равномерно (максимальная неровность слоя на плунжере 0,5–1,0 мкм, что упрощает последующую механическую обработку. Химическое никелирование нашло применение для восстановления изношенных плунжерных пар.

Известен способ, обеспечивающим высокую износостойкость прецизионных деталей топливной аппаратуры, является диффузионное борирование [5]. Его применение повышает износостойкость рабочих поверхностей в два раза по сравнению с гальваническим хромированием, в 3 раза выше азотирования и в 4 раза выше деталей из закаленной стали ШХ-15. Это достигается за счет очень высокой поверхностной твердости 2000 кгс/мм<sup>2</sup>. Скорость диффузии, структуру и фазовый состав слоя определяют температурой, продолжительностью процесса и активностью борировочной среды. Борирование производят жидкофазным и газофазным способами, что эффективно для низколегированных сталей с содержанием углерода 0,3–0,5 % (сталь 40, 40Х, 38ХС, 65Г и др.) Толщина борированного слоя составляет 0,2 мм для углеродистых и 0,12 мм – для большинства легированных сталей.

При восстановлении данным способом необходима последующая обязательная термообработка относительно мягкой сердцевины деталей во избежание продавливания тонкого борированного слоя. В результате нагрева деталей в процессе борирования до 850–1100 °С и последующей закалки неизбежны резкие охлаждения и как следствие, деформация деталей. Исходя из этого использование такого сложного и длительного процесса для прецизионных деталей пока ограничено.

Газовое азотирование позволяет повысить микротвердость прецизионных деталей до 750 кгс/мм<sup>2</sup>. Также как и борирование этот метод является длительным процессом, связанным с нагревом до высоких температур и последующей механической обработкой.

Наибольший интерес из химико-термических методов обработки для промышленного применения на прецизионных деталях представляет диффузионная металлизация с образованием на поверхности изделия покрытия, основная составляющая которого карбиды или нитриды насыщаемого элемента (хрома или титана), в результате встречной диффузии с углеродом или азотом, находящимся в стали [2-5]. Металлизация производилась в вакуумных печах с нагревом и выдержкой контейнеров с деталями при температуре 1150–1200 °С в вакууме 1,33–1,133 Па в течении 5–6 часов. Затем печи с контейнерами охлаждались в течении 2,5 часа до температуры окружающей среды. В результате диффузионного насыщения покрытия карбидом хрома размер детали изменился на 70–80 мкм насыщаемого и упрочненного слоя. Для повышения насыщающей способности диффузионного слоя, плунжер закаливался ТВЧ с температурой нагрева 840 °С, выдержкой в 8–10 сек и охлаждением в индустриальном масле. После хромирования покрытие подвергали механической обработке шлифованием электрокорундовыми кругами и доводки притирами и пастами на основе синтетических алмазов. Как было установлено, покрытие карбида хрома имело микротвердость 1300–2000 кгс/мм<sup>2</sup>, что значительно выше, чем у серийных прецизионных деталей (800–1000 кгс/мм<sup>2</sup>), которые выполнялись из термообработанной стали ХВГ и азотированной стали 25Х5МА.

Поскольку твердость покрытия значительно выше, чем у абразивных частиц в топливе (твердость кварца 1000 кгс/мм<sup>2</sup>), попадающих в зазоры плунжерных пар при трении, то их износ сокращается в 2 раза. При испытаниях топливного насоса с диффузионно-хромированной плунжерной парой не требовалось его регулировка (отсутствие регулировок в период эксплуатации дизеля является одним из главных резервов экономии топлива).

Эффективным путем улучшения работы прецизионных деталей является применение тонких износостойких покрытий, получаемых способом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ). Вакуумно-плазменный метод нанесения композиционных покрытий позволяет повысить твердость покрытия в несколько раз по сравнению с термообработкой. Этот метод заключается в испарении тугоплавких материалов электрической дугой в вакууме в присутствии реагирующих газов и последующей конденсации с ионной бомбардировкой паров материалов, либо их соединений с газами, которые образуются благодаря протеканию плазмохимических реакций [4, 5]. Процесс КИБ состоит из двух этапов – подготовки поверхности к нанесению покрытия, заключающаяся в ее бомбардировке ускоренными ионами, что сопровождается нагревом этой поверхности для обеспечения качественной очистки и адгезионной прочности покрытия и затем последующей конденсации (нанесения покрытия), происходящей практически без дополнительного нагрева. Это связано с тем, что энергия ионов при бомбардировке существенно выше

энергии при конденсации. В процессе нанесения покрытия в вакуумной камере устанавливались плунжера на определенном расстоянии от катода с распыляемым материалом. Для получения покрытия равномерного состава и толщины, плунжера приводились во вращение в плазменном потоке ионов, движущихся от распыляемого материала к детали. В качестве распыляемых материалов для нанесения покрытия применялись тугоплавкие металлы – титан и молибден, а в качестве реактивного газа – азот. В результате чего, на предварительно обработанный плунжер наносились покрытия нитрида титана или молибдена толщиной 3–5 мкм. После нанесения покрытия детали практически не подвергались механической обработке.

Проведенные испытания на износ с использованием специального безмоторного стенда трения в течении 12 часов серийных плунжерных пар из стали ШХ15 термообработанной до твердости 60–62 HRC и аналогичных плунжерных пар с покрытием плунжеров нитридом титана методом КИБ с твердостью примерно в 4 раза большей показали, что износ плунжера благодаря покрытию снизился в 1,85 раза. При натуральных испытаниях, ускоренных содержанием в топливе кварцевой пыли 0,01 г/л испытаниях в течении 12 часов, было установлено, что покрытие плунжеров нитридом титана обеспечило снижение потери статической плотности в 1,08 раза, а динамической – в 1,18 раза.

Результаты проведенных испытаний позволили рекомендовать технологию КИБ восстановления плунжерных пар для широкого применения.

Подводя итоги работы, можно отметить, что наиболее перспективными методами повышения надежности и износостойкости прецизионных деталей топливной аппаратуры будут являться прогрессивные технологии нанесения покрытий диффузионной металлизацией, детонационно-газовым и вакуумно-плазменным (КИБ) напылением.

#### **Список использованных источников**

1. Антонов В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1992 – С. 176.
2. Долматов А.И., Мовшович А.Я., Буденный М.М. Перспективы развития высоких технологий в машиностроении // Мир техники и технологий. 2002, №3. С. 8–11.
3. Комплексное решение вопроса увеличения ресурса и повышения надежности топливной аппаратуры дизелей // Двигателестроение, 2003, №1. С 58–60.
4. Лойко, В. А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве /В. А. Лойко [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2008. – 192 с.
5. Тимофеев, С.С. Повышение износостойкости плунжерных пар. / С.С. Тимофеев. // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 10-й МНТК. 24–28 мая 2010 г., Киев: АТМ Украины. 2010. С. 194–196.
6. Лебедев, А.Т., Лебедев, П.А. Восстановление работоспособности плунжерных пар. / А.Т. Лебедев, П.А. Лебедев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 1. С. 23–24.