

А.Я. МОВШОВИЧ, д-р техн. наук,
С.С. ТИМОФЕЕВ, Харьков, Украина

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОР ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

В статті приведено результати досліджень вакуум-плазменного напилення для підвищення зносостійкості деталей паливної апаратури двигунів, дана оцінка технологічних методів підвищення надійності прецизійних пар, приведені їх переваги та недоліки, дані рекомендації по промислового використанню.

В статье приведены результаты исследований вакуум-плазменного напыления для повышения износостойкости деталей топливной аппаратуры двигателей, данная оценка технологических методов повышения надежности прецизионных пар, приведены их преимущества и недостатки, даны рекомендации по промышленному использованию.

In article results of researches vacuum-plasma deposition for increase of wear resistance of details fuel equipments of the engines are resulted, the given estimation of technological methods of increase of reliability of precision pairs, their advantages and lacks are resulted, recommendations on industrial use are given.

Введение. Надежность работы дизелей в значительной степени определяется работоспособностью деталей наиболее быстро изнашиваемых пар.

Несмотря на очистку топлива фильтрами, часть твердых частиц проходит вместе с топливом под высоким давлением с большей скоростью через малые зазоры, что приводит к износу прецизионные пары. В результате чего нарушается нормальная работа топливной аппаратуры и ухудшаются технико-эксплуатационные показатели двигателя [1].

Так как топливная аппаратура выполняет очень ответственные функции в обеспечении устойчивой работы двигателя. Прецизионные детали изготавливают с большой точностью, а в сопряжении допускаются зазоры не более 3 мкм. Поэтому даже незначительные износы рабочих поверхностей этих деталей нарушают нормальную работу топливного насоса и форсунок.

Анализ работы прецизионных деталей топливной аппаратуры двигателей показал, что их надежность и износостойкость в большей степени зависят от поверхностей твердости сопрягаемых деталей, а

повышение последней является одним из основных факторов повышения работоспособности конструкции. Основной причиной неостаточного ресурса этих деталей является абразивное изнашивание и задираобразование.

Методы повышения износостойкости. Значительный интерес для улучшения надежности и долговечности прецизионных пар топливной аппаратуры представляют методы нанесения износостойких покрытий: вакуумные, геоноплазменные, диффузионной металлизации, фторосодержащих поверхностно-активных веществ (ПАВ), детонационные и др.

По данным ряда исследований [1, 2, 3, 4] для повышения твердости деталей широкое распространение получила химико-термическая обработка, как более простой и дешевый метод повышения твердости до 60-62 HRC.

Основными недостатками данного метода являются: обезуглероживание поверхностного слоя, анизотропия свойств по сечению деталей, отпускная хрупкость и повышенная чувствительность к флокенообразованию.

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.

Другим методом, повышающим надежность и износостойкость плунжеров, клапанов и игл распылителей топливной аппаратуры является электрохимическое хромирование.

Нанесение покрытий проводилось при 50° электролита, 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 основным материалом, вследствие образования в поверхностном слое покрытия растягивающих остаточных напряжений. Кроме этого установлена нестабильность микротвердости покрытия в пределах 750...1100 кгс/мм², 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 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/мм² 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.

Другим способом, обеспечивающим высокую износостойкость прецизионных деталей топливной аппаратуры, является диффузионное борирование.

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/мм². 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 проц. (сталь 40, 40Х, 38ХС, 65Г и др.) Толщина борированного слоя составляет 0,2 мм для углеродистых и 0,12 мм – для большинства легированных сталей. Следует, что 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 газотермическое позволяет повысить микротвердость прецизионных деталей до 750 кгс/мм². 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, 3]. 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 час. 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 при общей толщине насыщаемого и упрочненного слоя 100-120 мкм на сторону. Для повышения насыщающей способности диффузионного слоя подпятник, плунжер закаливался ТВЧ с температурой нагрева 840°C, 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 карбидом хрома имело микротвердость 1300-2000 кгс/мм², что значительно выше, чем у серийных прецизионных деталей (800-1000 кгс/мм²), 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/мм²), 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 КИП 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, заключается 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 окончательно 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 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 плунжеров для эксплуатационного применения.

Метод детонационно- газового напыления является наиболее перспективным как с точки зрения обеспечения износостойкости, так и технико-экономических показателей их применения [3].

Поскольку процесс детонационных покрытий является процессом импульсным, то, как правило, при формировании покрытий не происходит нагрева деталей свыше 250°C, следовательно, процесс исключает коробление детали, структурные и фазовые превращения ее материала, что не всегда обеспечивает другими методами.

Перед выше указанными методами детонационно-газовый метод насыщения покрытий обладает рядом преимуществ:

- прочность сцепления покрытий с изделием достигает от 180 до 360 Мпа, что на порядок выше, чем у покрытий, нанесенных другими методами, что позволяет применить их для упрочнения и восстановления деталей, работающих в экстремальных условиях при воздействии больших контактных и ударных нагрузок;

- толщина наносимого слоя лежит в пределах 0,2-0,6 мм;

- температура детали при напылении зависит от ее размера и не превышает 530°K, что соответствует низкому отпуску. Ввиду малой продолжительности процесса напыления, температурное воздействие незначительно;

- возможность плавного и устойчивого параметров процесса в широких диапазонах позволяет для каждого материала установить наиболее оптимальные режимы напыления;

- применение мелкодисперсных композиционных материалов для напыления позволяет формировать покрытие с шероховатостью от 10 до 20 мкм, что в некоторых случаях не требует дополнительной механической обработки;

- высокая энергия продуктов детонации, ускоряющая частицы, повышающая их температуру, позволяет формировать покрытия из тугоплавких материалов не только на металлических деталях с твердостью поверхности 60 HRC и выше, но и на не металлических материалах.

Более широкому внедрению данного метода в производство способствует возможность нанесения порошков различных составов (титана, керамики, пластмассы, композиционных порошков и др.) и получение покрытий с наперед заданными физико-механическими свойствами; относительно высокая производительность; возможность нанесения слоев различной толщины как на отдельные участки, так и по всей поверхности, экономия материальных средств за счет получения покрытий с минимальными припусками под последующую обработку; легкая управляемость процессом и возможность изменения энергетических параметров в зависимости от требований технологии напыления.

В последнее время для повышения антифрикционных свойств деталей пар трения начинает применять фторсодержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ)-эпиламы. Это позволяет снизить их коэффициент трения, величину износа, увеличить ресурс и надежность работы этих деталей. Покрытие ПАВ наносится на поверхность в виде тонкой пленки, представляющей собой мономолекулярные соли, толщина которой составляет 40Å . В результате чего она не влияет на размеры и шероховатость поверхности деталей, поэтому данное покрытие не нуждается в механической обработке и может быть нанесено окончательного изготовления деталей. Основной особенностью фторсодержащих ПАВ является способность их прочно соединяться с поверхностями, образуя отдельные барьерные пленки с очень низким запасом поверхностной энергии. Это приводит к прочному удержанию масла и топлива, внесенных в узлы трения. В результате нанесения на твердые поверхности ПАВ их износ снижается в 2 и более раза в зависимости от характера работы узла [3, 5].

Технология нанесения ПАВ проста и может быть применена не посредственно в производственных условиях. Поверхность деталей обезжиривается в хладоне 113, ацетоне, бензине или других подобных

растворителях. После сушки детали погружают в эпиламирующий раствор на 5-7 мин. и затем высушивают их при температуре 20-150°C на воздухе. Более эффективным является обезжиривание и эпиламирование в указанных растворах при нагреве их до 50°C. В этом случае используется установка, имеющая емкости с обезжиривающими и эпиламирующими растворами и устройства для улавливания и конденсации выделяющихся из них паров.

Применение ПАВ на деталях начато сравнительно недавно. Так нанесение их перед сборкой на поверхность трения тяжело нагруженных шарниров, на основе проведенных испытаний, подтвердили целесообразность применения эпиламирования.

Выводы.

Подводя итоги рассмотрения особенностей работы прецизионных деталей топливной аппаратуры и применяемых для повышения их износостойкости технологических методов можно отметить следующее:

1. Основной причиной износа и нарушения работы прецизионных деталей топливной аппаратуры является схватывание в процессе приработки деталей и абразивный износ при взаимодействии в процессе работы деталей с твердыми частицами, попадающими с топливом.

2. Износостойкость технологическими методами может быть повышена путем нанесения покрытий с увеличением твердости поверхностей прецизионных деталей выше твердости абразивных частиц и гарантированным удержанием на поверхностях трения разделяющей их пленки топлива.

3. В качестве перспективных методов повышения надежности и износостойкости прецизионных пар топливной аппаратуры следует считать прогрессивные технологии нанесения покрытий диффузионной металлизацией, детонационно-газовым и вакуумно-плазменным (КИБ) методами в сочетании с фторосодержащими поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Список литературы: 1. Антонов В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1992 – С.176. 2. Прогрессивные направления в изготовлении деталей топливной аппаратуры. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1973. – С.54. 3. Долматов А.И., Мовшович А.Я., Буденный М.М. Перспективы развития высоких технологий в машиностроении // Мир техники и технологий. 2002, №3, с.8-11. 4. Аксаков А.Г. и др. Повышение износостойкости плунжерных пар поверхностным упрочнением нитридом титана // Двигателестроение, 1984, №3, с.33-34. 5. Комплексное решение вопроса увеличения ресурса и повышения надежности топливной аппаратуры дизелей // Двигателестроение, 2003, №1, с.58-60.