

DOI: 10.12731/2227-930X-2018-4-99-111

УДК 629.3.014

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

*Кодинцев Н.П., Сидоров В.Н., Шаповалов А.П.*

*Описывается характер и величины износов плунжерных пар топливного насоса высокого давления. Плунжерные пары топливных насосов дизеля работают в условиях высоких нагрузок и значительного изнашивания. Прецизионные поверхности плунжера и гильзы подлежат различным видам изнашивания, среди которых преобладает абразивный износ. Изменяются геометрические параметры деталей, приводящие к снижению цикловой подачи топлива, гидравлической плотности, изменению угла впрыска и других показателей. Характеризуются и сравниваются методы восстановления и упрочнения плунжерных пар путем образования на прецизионной поверхности покрытия высокой твердости. Описывается технологический процесс нанесения карбиднохромового покрытия путем диффузионного хромирования (вакуумным и газовым способами) плунжера и втулки из сталей ХВГ и 25Х5М. Описываются особенности механической обработки плунжера и втулки. Для повышения ресурса и восстановления плунжерных пар топливных насосов высокого давления предлагается использовать метод диффузионного хромирования, при котором на детали наносится слой твердого покрытия, позволяющий помимо упрочнения деталей компенсировать их износ.*

**Цель** – определение методов восстановления и упрочнения плунжерных пар путем образования на прецизионной поверхности покрытия высокой твердости.

**Метод или методология проведения работы:** в статье приведен технологический процесс нанесения карбиднохромового по-

крытия путем диффузионного хромирования (вакуумным и газовым способами) плунжера и втулки из сталей ХВГ и 25Х5М.

**Результаты:** повышен ресурс плунжерных пар топливных насосов высокого давления использованием метода диффузионного хромирования, позволяющий помимо упрочнения деталей компенсировать их износ.

**Область применения результатов:** полученные результаты целесообразно применять для повышения ресурса и восстановления плунжерных пар топливных насосов высокого давления

**Ключевые слова:** плунжерная пара; износ; диффузионное хромирование.

## RESTORATION AND HARDENING OF PLUNGER PAIRS OF HIGH-PRESSURE FUEL PUMPS

*Kodintsev N.P., Sidorov V.N., Shapovalov A.P.*

*The character and wear values of plunger pairs of high-pressure fuel pump is described. Plunger pairs of diesel fuel pumps work in conditions of high loadings and considerable wear. Plunger and sleeve precision surfaces are subjected to various types of wear, abrasive one being prevail. Geometrical parameters of the parts leading to the decrease in cyclic fuel supply, hydraulic density, change of the intake angle and others are varied. Methods of plunger pair restoration and hardening by means of high hardness coating on the precision surface are analyzed and compared. Technological process of carbide-chrome coating by virtue of diffusive chromium plating (vacuum and gas method) of a plunger and a sleeve made of steels ХВГ and 25Х5М is described. Special features of plunger and sleeve machining are described. To increase capability and restoration of plunger pairs of high-pressure fuel pumps a method of diffusive chromium plating is proposed. The latter means that the parts are covered with a layer of hard coating. This results not only in hardening parts but also in compensating for their wear.*

**Purpose** – to determine methods of plunger pair restoration and hardening by virtue of high hardness coating on the precision surface.

**Method and techniques** – technological process of carbide-chrome coating by virtue of diffusive chromium plating (vacuum and gas method) of a plunger and a sleeve made of steels XBT and 25X5M is given.

**Results:** capability and restoration of high-pressure fuel pump plunger pairs are increased by using a method of diffusive chromium plating.

**Field of result application:** it makes sense to use the results obtained to increase capability and restoration of high-pressure fuel pump plunger pairs.

**Keywords:** plunger pair; wear; diffusive chromium plating.

Плунжерные пары топливных насосов дизеля работают в условиях высоких нагрузок и значительного изнашивания. Прецизионные поверхности плунжера и гильзы подлежат различным видам изнашивания, среди которых преобладает абразивный износ. Проникающие через топливные фильтры абразивные частицы приводят к появлению на деталях местных износов. Изменяются геометрические параметры деталей, приводящие к снижению цикловой подачи топлива, гидравлической плотности, изменению угла впрыска и других показателей. При значительном снижении цикловой пусковой подачи топлива становится невозможным запуск двигателя.

Износ прецизионных поверхностей плунжера и гильзы сконцентрирован в местах максимального перетекания топлива и имеет местный характер. Наиболее сильно плунжер изнашивается в верхней части, расположенной напротив перепускного канала гильзы. Изнашивание имеет характер продольного углубления, расположенного от верхней части плунжера ближе к его середине. Размеры продольного углубления: по радиусу плунжера – 0,023...0,025 мм, ширина – 4,5...5 мм, длина 9,5...10 мм. В средней и нижней части плунжера зона износа становится менее выраженной, за серединой плунжера износ практически не наблюдается. На средней и нижней частях плунжера наблюдается помутнение поверхности

из-за появления рисок глубиной до 0,005 мм. Зона износа характеризуется повышенной шероховатостью поверхности, матовым цветом. На изменение параметров топливоподачи износ средней и нижней части плунжера влияет не значительно. Изнашивание прецизионной поверхности происходит по причинам абразивного и гидроабразивного изнашивания. У гильзы плунжерной пары износу подвержены поверхности, приближенные к подводящему и перепускному каналам. Наиболее сильно изнашивается площадь у подводящего канала гильзы, в районе перепускного канала износ менее выражен. Площадь изнашивания в районе подводящего канала представляет полосу (в форме желоба) шириной 4,5...5 мм, расположенную соосно гильзы. Наиболее сильно износ выражен над подводящим каналом протяженностью 6...7 мм от кромки отверстия вверх. Ниже подводящего канала участок износа составляет 4,5...5 мм. В районе кромки подводящего канала находится зона максимального износа гильзы, составляющая в верхней ее части 0,025...0,027 мм и в нижней части 0,015...0,017 мм. Прецизионная поверхность гильзы выше верхней кромки подводящего канала имеет износ виде параллельных рисок, расположенных соосно втулке. Края подводящего канала приобретают неровный характер. Изнашивание поверхности в районе перепускного канала отличается по величине и характеру изнашивания. Зона изнашивания расположена слева относительно перепускного канала и представляет собой полосу шириной 2...2,5 мм. Высота полосы износа по направлению к верхнему торцу составляет 2...3 мм, по направлению к нижнему торцу – 4,5...5 мм. Максимальное изнашивание гильзы происходит ближе к перепускному каналу с левой стороны и составляет 0,015...0,017 мм. Ближе к торцу гильзы износ значительно уменьшается. Изнашивание гильзы с правой стороны относительно перепускного канала практически не наблюдается. Наблюдаемый характер изнашивания объясняется тем, что при завершении цикла подачи топлива винтовая кромка плунжера в первую очередь открывает проход топливу с левой стороны перепускного канала гильзы. Соответственно при прохождении

топлива в момент отсечки наибольшему износу подвергается левая сторона перепускного канала, в то время как противоположная сторона перепускного канала еще закрыта плунжером. Кромка перепускного канала сглаживается вследствие значительного износа, при этом последствия изнашивания кромки легко компенсируются регулировкой топливного насоса. Таким образом, при величинах износов деталей плунжерной пары до 0,025 мм для их восстановления в первоначальную размерную группу требуется нанесение компенсирующего износ твердого покрытия толщиной до 0,030...0,35 мм с учетом проведения механической обработки восстановленных деталей.

Восстановление плунжера износостойким гальваническим хромированием позволяет незначительно увеличить ресурс плунжерной пары, но из-за технологических ограничений гальванического процесса (нестабильность состава электролита, необходимость предварительной шлифовки плунжеров) в настоящее время практически не используется.

При нанесении на плунжер «мягкого» гальванического хрома из саморегулирующегося электролита и последующей его цементации можно получить покрытие из карбидов хрома, характеризующееся высокой износостойкостью. Цементация в твердом карбюризаторе позволяет снизить температуру нагрева деталей и уменьшить величины изгиба деталей. Однако использование двух разных технологических процессов (упрощенного гальванического и химикотермического) усложняет применение этого метода.

Диффузионное хромирование позволяет создать износостойкий поверхностный слой, возникающий при взаимодействии хрома с углеродом (азотом), находящимся в детали. На поверхности изделия образуется диффузионный слой следующего состава: для низкоуглеродистых сталей и железа – твердый раствор хрома в железе, для углеродистых и легированных сталей – карбиды (нитриды) хрома. Увеличение размеров изделий составляет от 0,05 до 0,16 мм, что дает возможность восстанавливать изношенные детали. Толщина диффузионного слоя имеет высокую адгезию с

основным материалом детали и обладает поверхностной твердостью до  $HV = 18000$  МПа. Измерения микротвердости покрытия проведены по методике ГОСТ 9450-76 на твердомере ПМТ-3М путем вдавливания алмазной пирамиды с углом при вершине  $136^\circ$  и нагружении индентора  $0,98$  Н. По таблице «диагональ отпечатка – микротвердость», составленной после тарировки прибора, определена величина микротвердости.

Диффузионное хромирование приводит к созданию на поверхности деталей из стали ХВГ (плунжерные пары НЗТА) карбидов хрома, на поверхности деталей из стали 25Х5М образуются нитриды хрома (плунжерные пары ЯЗДА). Под упрочненным слоем образуется обедненная углеродом зона вследствие диффузии углерода к хрому, имеющая пониженную твердость  $4 \dots 5$  ГПа. Как показали испытания, для деталей плунжерной пары, работающей в условиях изнашивания поверхностного слоя, наличие обедненной углеродом зоны не сказывается на ресурсе.

Газовый метод хромирования основан на взаимодействии поверхности с газовой фазой, содержащей хром. Для создания хромосодержащей среды используют галогениды хрома ( $CrCl_2$ ,  $CrF_2$ ,  $CrI_2$  и др.). Газовое хромирование подразделяется на контактный и бесконтактный методы. При контактном методе газовая фаза получается непосредственно в рабочей камере (герметизируемом контейнере) при взаимодействии галогенидов с измельченным хромом. При бесконтактном способе газовая фаза состоит только из галогенидов. Упругость паров галогенидов хрома значительно превышает упругость паров чистого хрома, поэтому хромирование из газовой фазы протекает интенсивнее по сравнению с хромированием в паровой или твердой фазах. Контактный метод газового хромирования предусматривает размещение изделий в контейнере с порошковой смесью, способной создавать газообразные соединения хрома. При этом методе смесь состоит из носителей хрома (чистый хром, хромистая руда, окись хрома и др.), инертного наполнителя для предотвращения сплавления частиц с деталями (окись алюминия, каолин, окись магнезия, огнеупорная глина и др.),

и солей, разлагаемых при нагреве и взаимодействующих с хромом и образующих галогениды хрома ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Br}$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{NH}_4\text{I}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaCl}_2$  и др.). Наиболее активным из вышеперечисленных галогенидов является хлорид хрома  $\text{CrCl}_2$ .

Хромирование из паровой фазы основано на явлении сублимации хрома при повышенных температурах. При нагреве до  $917^\circ\text{C}$  хром начинает испаряться, при дальнейшем повышении температуры легко перегоняется. Так как пары хрома имеют малую упругость, при атмосферном давлении скорость переноса атомов хрома невысока. Хромирование при пониженном давлении (в вакууме) приводит к увеличению скорости переноса хрома к изделию. Хромирование в вакууме не вызывает окисление изделий, и не требует коррекции в рабочей смеси инертного наполнителя и активаторов. При хромировании в вакууме снижается температура испарения хрома, увеличивается давление паров хрома объеме хромирования и увеличивается скорость осаждения хрома на изделие. Хромирование из паровой фазы (за исключением вакуумного варианта) является наиболее простым и дешевым. Но из-за высокой температуры, высокой продолжительности и ухудшения качества поверхности деталей метод не нашел применения в производстве.

Ввиду более высокой технологичности вакуумное хромирование широкой номенклатуры изделий нашло широкое применение в производстве. Подлежащие хромированию детали промываются последовательно в растворе едкого натрия с небольшой добавкой жидкого стекла для удаления остатков смазки и проточной теплой воде. Детали устанавливаются в контейнер с измельченным хромом, контейнер устанавливается в вакуумную печь. В печи создается вакуум, включается нагрев до рабочей температуры  $1150^\circ\text{C}$  (примерно 2...3 часа), детали выдерживаются 6 часов. Обычно такого режима металлизации достаточно для получения диффузионного слоя требуемой величины. По окончании процесса контейнер остывает вместе с печью до  $200^\circ\text{C}$ . Из контейнера извлекаются детали, очищаются от порошка хрома. Вакуумное хромирование характеризуется отсутствием вредных выделений и не требует

средств защиты персонала. Порошковый хром постепенно оседает на стенки вакуумной камеры, детали и контейнер, поэтому при эксплуатации требуется возобновлять его испарившуюся часть. Хромированные плунжерные пары имеют светло-серый блестящий матовый цвет, наблюдается незначительное увеличение шероховатости поверхности. Образование слоя из карбидов хрома происходит также на внутренних поверхностях деталей: винтовой канавке плунжера, каналам гильзы, что невозможно иными способами восстановления (в частности, гальваническим). По результатам ускоренных испытаний на изнашивание установлено, что ресурс деталей плунжерной пары производства ЯЗДА и НЗТА (сталь 25Х5М и ХВГ соответственно) с хромированным покрытием по основным показателям (цикловая подача во всем диапазоне оборотов, гидравлическая плотность и др.) увеличивается в 1,5 и более раз.

Плунжеры после операции диффузионного хромирования подвержены незначительному изгибу (короблению), который происходит вследствие остаточных сжимающих напряжений или термических напряжений в поверхностных слоях. Степень изгиба деталей зависит от способа хромирования, расположения деталей в контейнере (предпочтительно вертикальное) и температуры нагрева. Наименьший изгиб наблюдается при газовом хромировании в порошках, а наибольший (порядка 0,007 мм) при неконтактном газовом и жидком хромировании. Гильза практически не подвергается короблению при диффузионном хромировании.

Механическая обработка плунжера и гильзы топливного насоса с покрытием из карбидов хрома выполняется на серийном оборудовании и сохранением технологических операций. Так как покрытие из карбидов хрома имеет высокую твердость по сравнению с материалом серийных деталей (13...15 ГПа и 7...8 ГПа соответственно), необходимо применять абразивные материалы на основе алмазов (типа АСМ) или карбидов титана (типа КТ). Доводку отверстия гильзы рекомендуется проводить при пониженной подаче. При механической обработке плунжера незначительно увеличивается продолжительность обработки деталей. Отмечено,



что получение требуемой шероховатости поверхности гильзы и плунжера бывает затруднено из-за высокой твердости покрытия. Однако при соответствии упрочненных деталей техническим условиям изготовителя и условиям селективной сборки (достигнуты овальность, конусность, гидравлическая плотность, отсутствует огранка) пониженная шероховатость не сказывается на высоком ресурсе упрочненной пары.

### *Список литературы*

1. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. Альянс, 2015. 448 с.
2. Грехов Л.В. и др. *Топливная аппаратура и системы управления дизелей*. Легион-Автодата, 2005. 344 с.
3. Ачкасов К.А., Бугаев В.Н., Богачев Б.А., Мазаев Ю.В. Авторское свидетельство на изобретение «Способ комплексной химико-термической обработки стальных изделий» №1336601 от 8.05.1987 г.
4. Кодинцев Н.П. Упрочнение плунжерных пар топливных насосов высокого давления // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 2016. С. 16–18.
5. Леонтьев Л.Б., Леонтьев А.Л. Повышение надежности прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей технологическими методами // *Судостроение*. №3, 2011, С. 40–41.
6. Саматов З.А., Шарифуллин С.Н., Адигамов Н.Н., Адигамов Н.Н. Высокоэффективные технологии в восстановлении и упрочнении ответственных элементов машин и механизмов // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13062>
7. Лебедев П.А. Повышение эффективности работы топливной аппаратуры дизельных двигателей / А.Т. Лебедев, П.А. Лебедев // *Тракторы и сельхозмашины*. 2011. No7. С. 43–45.
8. Бурумкулов Ф.Х. Повышение межремонтного ресурса агрегатов с использованием нанoeлектротехнологий / Ф.Х. Бурумкулов, В.П. Лялякин, Д.А. Галин // *Техника в сельском хозяйстве*. № 3. 2007. С. 8–13.

9. Неговора А.В. Современные тенденции технического сервиса топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей / И.И. Габитов, А.В. Неговора // Труды ГОСНИТИ. М., 2008. Т. 101. С. 38–43.
10. Newby, Kenneth, R. Hardness and wear characteristics for a new non-fluoride high efficiency chromium plating chemistry / Newby Kenneth R., Jones Allen R. // SAE Techn. Pap. Ser. 1989, № 890914. С. 1–7.
11. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. 1992. V. 7 № 6, pp. 1564–1583.
12. Su Y.L. A tribological investigation of physical vapour deposition TiN coatings paired with surface treated steels for machine element applications / Su Y.L., Lin J.S., Shiau L.I., Wu J.D. // Wear, 167. 1993, pp. 73–83.
13. Studer W. Hartmetallbeschichtung von werkzeugen und versch Leibteilen, Fertigungstechnik und Betied, Bd. 22, 1972. 412 s.
14. Studer ват. Покрытие твердого сплава инструментов и versch частям тела, Fertigungstechnik и Betied, т. 22, 1972. 412 s.
15. Borisov G.A., Moos E.N. Gas phase Technology for Hardening Coating. // In abs. book European Materials For Advanged Metallization Workshop MAM'97, Franse. P. 218.

### *References*

1. Lakhtin Yu.M. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals]. Al'yanS, 2015. 448 p.
2. Grekhov L.V. et al. *Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizelej* [Fuel equipment and control systems of diesel engines]. Legion-Avtodata, 2005. 344 p.
3. Achkasov K.A., Bugaev V.N., Bogachev B.A., Mazaev Yu.V. *Avtorskoe svidetel'stvo na izobrenie «Sposob kompleksnoy khimiko-termicheskoy obrabotki stal'nykh izdeliy» №1336601 ot 8.05.1987* [Author's certificate for the invention "Method of complex heat and chemical treatment of steel products" №1336601 from 05/08/1987].

4. Kodintsev N.P. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2016, pp. 16–18.
5. Leont'ev L.B., Leont'ev A.L. *Sudostroenie*. №3, 2011, pp. 40–41.
6. Samatov Z.A., Sharifullin S.N., Adigamov N.N., Adigamov N.N. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 3. <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13062>
7. Lebedev A.T., Lebedev P.A. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2011. №7, pp. 43–45.
8. Burumkulov F.Kh., Lyalyakin V.P., Galin D.A. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. № 3. 2007, pp. 8–13.
9. Gabitov I.I., Negovora A.B. *Trudy GOSNITI*. M., 2008. V. 101, pp. 38–43.
10. Newby, Kenneth, R. Hardness and wear characteristics for a new non-fluoride high efficiency chromium plating chemistry / Newby Kenneth R., Jones Allen R. *SAE Techn. Pap. Ser.* 1989, № 890914. С. 1–7.
11. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *J. Mater. Res.* 1992. V. 7 № 6, pp. 1564–1583.
12. Su Y.L. A tribological investigation of physical vapour deposition TiN coatings paired with surface treated steels for machine element applications / Su Y.L., Lin J.S., Shiao L.I., Wu J.D. *Wear*, 167. 1993, pp. 73–83.
13. Studer W. Hartmetallbeschichtung von werkzeugen und versch Leibteilen, Fertigungstechnik und Betied, Bd. 22, 1972. 412 p.
14. Studer vatt. *Pokrytie tverdogo splava instrumentov i versch chastyama tela* [Coating of hard metal tools and versch parts of the body], Fertigungstechnik i Betied, V. 22, 1972. 412 p.
15. Borisov G.A., Moos E.N. Gas phase Technology for Hardening Coating. In abs. book European Materials For Advanged Metallization Workshop MAM'97, Franse, p. 218.

#### **ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Кодинцев Николай Павлович**, доцент кафедры «Механизации сельскохозяйственного производства», кандидат технических наук

*Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева  
ул. Вишневого, 27, г. Калуга, Калужская область, 248007,  
Российская Федерация  
knp-kaluga@yandex.ru*

**Сидоров Владимир Николаевич**, профессор кафедры «Колесные машины и прикладная механика», доктор технических наук  
*Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана  
ул. Баженова, 2, г. Калуга, Калужская область, 248000, Российская Федерация  
sidorov-kaluga@yandex.ru*

**Шапвалов Александр Павлович**, профессор кафедры «Механизации сельскохозяйственного производства», кандидат технических наук  
*Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева  
ул. Вишневого, 27, г. Калуга, Калужская область, 248007,  
Российская Федерация  
a.shapovaloff@yandex.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Kodintsev Nikolay Pavlovich**, Associate Professor «Mechanization of agricultural production», Candidate of Technical Sciences  
*The Kaluga branch of the Russian State Agricultural University – MSHA of K.A. Timiryazev  
27, Vishnevsky St., Kaluga Region, 248007, Russian Federation  
knp-kaluga@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-2000-5813*

**Sidorov Vldimir Nikolaevicsh**, Professor «Wheel Machines and Applied Mechanics», Doctor of Technical Sciences

*The Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University  
2, Bagenova St., Kaluga Region, 248000, Russian Federation  
sidorov-kaluga@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-6794-7838*

**Shapovalov Alexander Pavlovich**, Professor «Mechanization of agricultural production», Candidate of Technical Sciences  
*The Kaluga branch of the Russian State Agricultural University – MSHA of K.A. Timiryazev  
27, Vishnevsky St., Kaluga Region, 248007, Russian Federation  
a.shapovaloff@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-4869-5513*