Тр. ГОСНИТИ. 2013. Т. 113. - С. 206-214

УДК 621.436.03

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Н.Р. Адигамов, зав. кафедрой «Технический сервис», д.т.н., профессор
(Казанский государственный аграрный университет, 8-917-8907020, E-mail: alfia.kgsha@mail.ru)
С.Н. Шарифуллин, профессор кафедры механизации в АПК, д.т.н., доцент
(Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета в г. Чистополе, 8-84342-50210, E-mail: saidchist@mail.ru)
К.С. Поджарая, руководитель Наноцентра
(ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, 8-499-1748393, gosniti8@mail.ru)

Аннотация: *В статье рассмотрены высокоэффективные технологии по модернизации топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей. При этом наиболее эффективными технологиями являются плазменные.*

Ключевые слова: *топливный насос, ресурс, плунжерная пара, плазма.*

Согласно ГОСТу 15 578 – 95 топливные насосы высокого давления (ТНВД) отечественных автотракторных дизельных двигателей (АТДД) должны иметь ресурс работы 5 тыс. мото-часов. В реальности их ресурс не превышает и 3 тыс. мото-часов. У зарубежных ТНВД ресурс работы более 10 – 12 тыс. мото-часов. В обоих случаях схемы кинематических цепей и применяемые материалы аналогичные. Высокий ресурс работы зарубежных ТНВД относительно отечественных насосов обеспечивается за счет более:

- медленного износа рабочей зоны плунжера плунжерной пары вследствие более короткой длины кинематической цепи силового привода насоса;
- большей износостойкости поверхностей сопрягаемых деталей подвижных соединений кинематической цепи силового привода насоса;
- малого зазора в плунжерных парах.

Как известно, эффективная работа ТНВД в первую очередь характеризуется работоспособностью его плунжерной пары. Она же является и самим дорогим элементом насоса. Анализ показал, что плунжерная пара отечественных ТНВД фактически после первых тысяча мото-часов требует ее замены или восстановления геометрических размеров деталей. Самый

простой способ решения проблемы – это, конечно, замена плунжерной пары. Однако это накладно, особенно в случае зарубежных ТНВД. Существующие же на сегодня технологии восстановления плунжерных пар, такие как, селективная подборка, гальваническое хромирование или никелирование, механическая обработка втулки и плунжера, позволяют восстановить не более 30% изношенных плунжерных пар. В результате в процессе производства накапливается огромное количество плунжерных пар из качественного материала с дальнейшей их сдачей в металлолом. Кроме того, эти технологии не позволяют добиться стопроцентного достижения ресурса работы плунжерных пар. А требования сегодняшнего дня – это модернизация изношенного изделия с получением нового его качества, более лучшего, чем у нового изделия.

В данной работе предлагается несколько новых технологий, которые позволят повысить ресурс работы плунжерных пар, как новых, так и изношенных, в несколько раз и тем самым существенно увеличить ресурс работы самого ТНВД.

Технология 1. Нанесение на поверхности сопряжения деталей плунжерной пары износостойких плазменных тонкопленочных покрытий.

Плазменные покрытия сочетают в себе одновременно однородность, а при необходимости и пористость структуры, высокую прочность сцепления (адгезию) с основой, повышенную твердость, высокую износостойкость, требуемый химический состав и т. д. Эти необычные свойства плазменных покрытий достигаются благодаря использованию возможностей широкого спектра энергетических, тепловых и газодинамических характеристик низкотемпературной плазмы газового разряда. Такие покрытия возможны и потому, что формирование покрытия происходит при осаждении частиц на подложку в атомарном и молекулярном состоянии. При этом за счет регулирования режимов нанесения толщина покрытия может не превышать всего нескольких микрометров.

В данной технологии покрытиями могут быть покрытия из нитрида титана, полученные ионно-плазменным способом, или кремнийуглеродосодержащие покрытия, полученные путем осаждения продуктов плазмохимических реакций различных углеводородных паров в дуговом разряде атмосферного давления. Отметим, что твердость таких покрытий имеет более 20 ГПа. Поэтому абразивные частицы, такие как гранит и кварц, с твердостью порядка 12 МПа, попадая в зазор плунжерной пары, будут размалываться. Следовательно, эти частицы не смогут оставить своих следов на рабочих поверхностях плунжерной пары. Кроме того, регулируя толщину покрытия от долей микрометра можно одновременно обеспечить зазор в плунжерной паре менее 1 мкм и тем самым увеличить развиваемое плунжерной парой давление.

Имеется закон изменения развиваемого плунжерной парой давления от наработки [1]

$$A^{kt} = 0{,}1(p_0 - p) + 1, \qquad (1)$$

где A – постоянная, характеризующая влияние начальной плотности в плунжерной паре; k – коэффициент, учитывающий интенсивность износа плунжерных пар; t – продолжительность эксплуатации; P_0 – исходное раз-

виваемое плунжерной парой давление; p – развиваемое плунжерной парой давление при наработке t.

Переходя от плунжерной пары к ТНВД и учитывая, что его наработка определяется ресурсом работы плунжерных пар по формуле (1) можно найти и ресурс работы ТНВД tн

$$t_н = \frac{\lg\{0.1(p_0 - p_{пред}) + 1\}}{\kappa \cdot \lg A}, \qquad (2)$$

где $p_{пред}$ – предельно допустимое в эксплуатации давление плунжерной пары. Для отечественных ТНВД $p_{пред}$ = 20 МПа.

Далее используя разработанную теоретическую модель [1], можно построить характеристику работы ТНВД. На рис. 1 представлены характеристики работы ТНВД с заводской плунжерной парой и плунжерной парой, плунжер которой имеет плазменное безвакуумное тонкопленочное покрытие. За счет плазменного покрытия развиваемое плунжерной парой давление возросло на 50 МПа, а износостойкость поверхности плунжера повысилась в 4 раза.

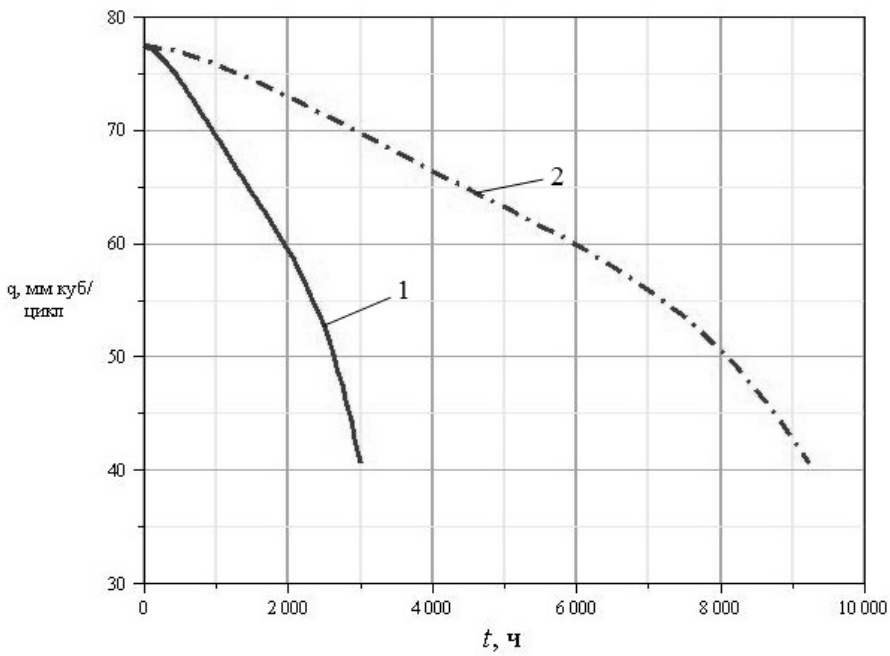


Рис. 1. Закономерности характеристик работы ТНВД с заводской плунжерной парой с P0 = 70 МПа (1) и плунжерной парой с плазменным покрытием на основе оксикарбонитрида кремния плунжера с P0 = 120 МПа (2)

Как видно из графиков рис. 1 плазменное износостойкое покры-тие на плунжере позволяет в 3 раза увеличить ресурс работы ТНВД дизельных двигателей.

Технология 2. Технология восстановления плунжерных пар без их обезличивания.

Структурная схема нового технологического процесса восстановления плунжерных пар без их обезличивания представлена на рис. 2. Для плунжеров с никелевым покрытием с целью создания необходимой твердости покрытия после совместной доводки плунжерной пары на поверхность плунжера дополнительно напыляют нитрид титана толщиной 2 – 3 мкм и затем проводят дополнительную совместную доводку плунжерной пары. После плунжерную пару проверяют на качество. Качество плунжерной пары проверяют по одному из следующих параметров: гидроплотности, развиваемому давлению, производительности, зазору между гильзой и плунжером, подачи топлива.

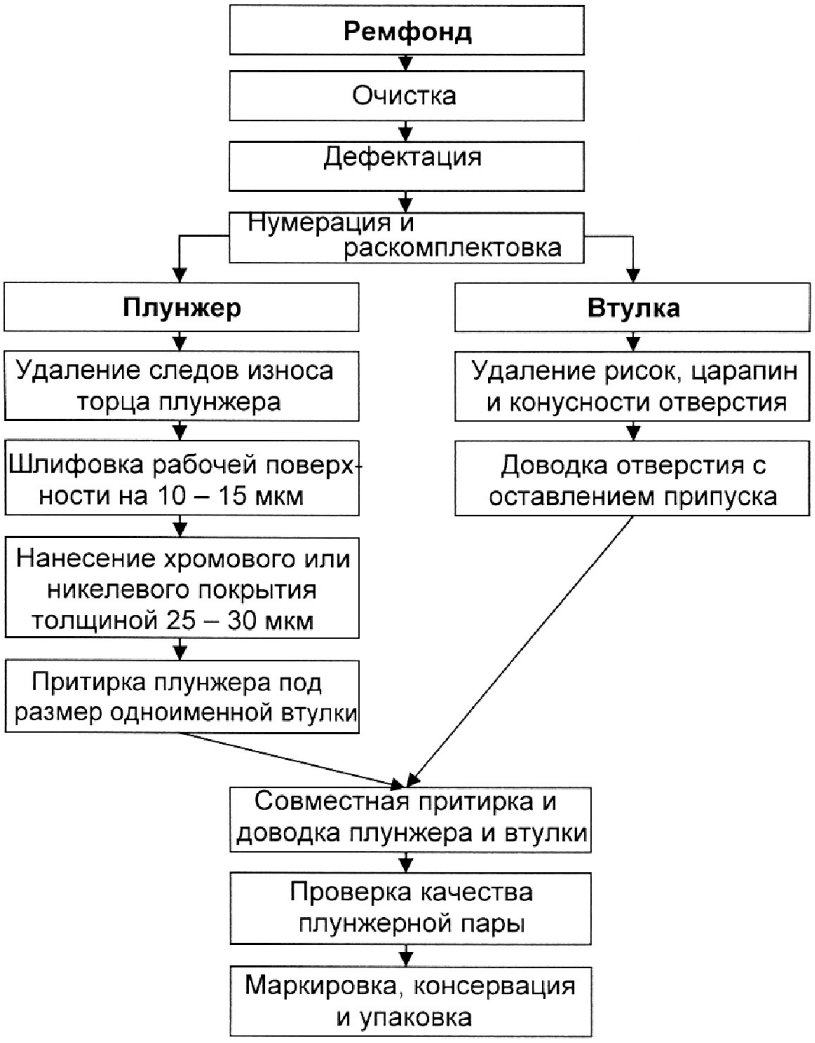


Рис. 2. Структурная схема нового технологического процесса восстановления плунжерных пар ТНВД.

Технология 3. Технология восстановления плунжерных пар методом электроискрового упрочнения.

Известно, что основной износ в плунжерной паре происходит в зоне активного хода плунжера, длина которого составляет порядка 8 – 10 мм. Величина износа доходит до 10 – 12 мкм на сторону. Данный износ можно устранить за счет электроискрового упрочнения изношенной поверхности плунжера и втулки. Упрочнение основы происходит на глубину порядка 0,3 мм, упрочненный слой увеличивается ~ на 20 мкм, а его твердость становится порядка 70 HRC (Рис. 3). Электроискровое упрочнение основано на электротермодиффузии в поверхность детали бора, азота, углерода и элементов электрода. Предложенная технология восстановления плунжерных пар после упрочнения деталей требует их притирки и совместной доводки.

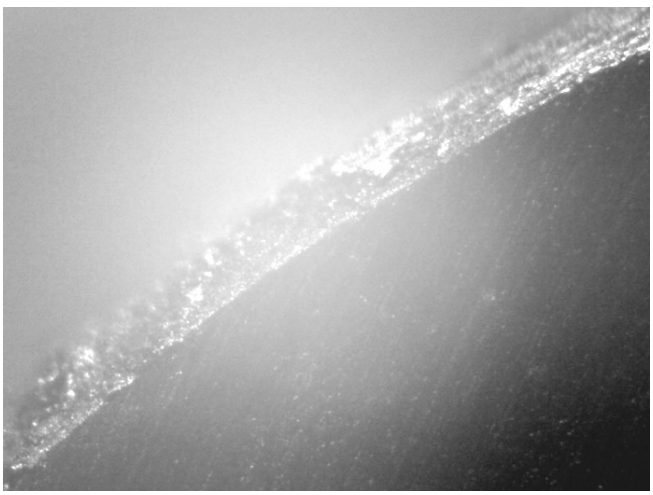
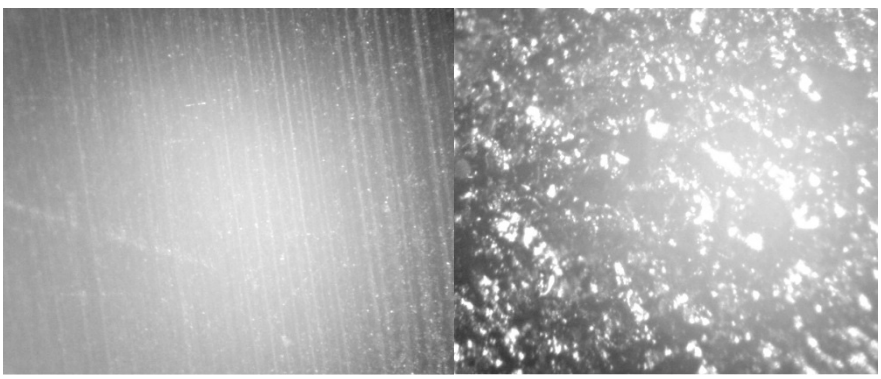


Рис. 3. Фотография упрочненного слоя стали Ст. 3 электроискровым методом. Увеличение 100 крат. Размер фотографии 1,6х1,2 мм

Данная технология находится в стадии разработки. По ней есть определенные вопросы. В частности, шероховатость исходной поверхности резко ухудшается (Рис. 4).



а б

Рис. 4. Фотографии поверхности плунжера плунжерной пары до (а) и после (б) плазменного упрочнения. Увеличение 100 крат. Размер фотографий 1,6х1,2 мм

Необходимо также отработать технологию притирки и совместной доводки деталей плунжерных пар. Электроискровое упрочнение производили на установке ЭИУ-2, разработанной и изготовленной ГНУ ГОСНИТИ. Прежде чем упрочнять плунжерные пары исследования производили на образцах. Исследование образцов производили в Наноцентре ГНУ ГОСНИТИ.

Объект исследований:

Образец №1 – исходный материал из стали Ст. 45 с толщиной 4 мм.

Образец №2 – образец с электроискровым упрочнением с пастой

Состав пасты: порошок ПГ-10Н-01 - 55%, карбид бора - 20 %, бура - 10%, криолит - 8%, SiO_2 - 5%. Al - 2%. Связывающее вещество - 20% раствор жидкого стекла.

Методика исследований:

Образец запрессовали в диск, полученный шлиф шлифовали и полировали. Измерение микротвердости проводили на приборе КМТ-1 по методу Виккерса. Нагрузка F = 1 Н, время выдержки t = 10 сек. Увеличение 370.

Результаты исследований:

Образец № 1.

На поверхности шлифа видно, что по структуре исходный материал однороден (Рис. 5). Для исследования микротвердости было проставлено 16 отпечатков. Значения микротвердости образца № 1 приведены в табл. 1.

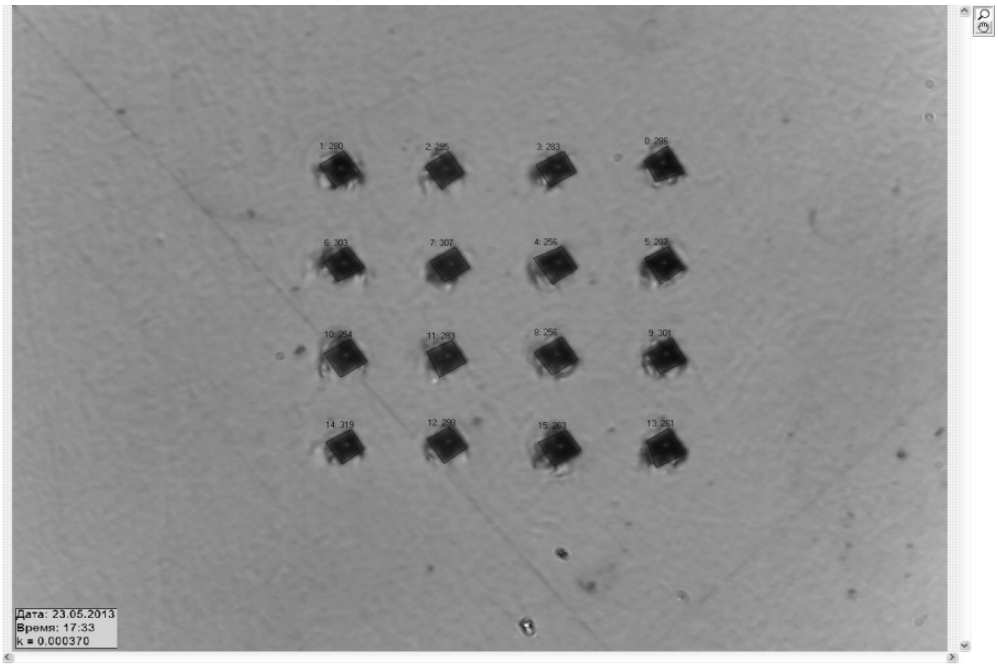


Рис. 5. Образец №1

Таблица 1.

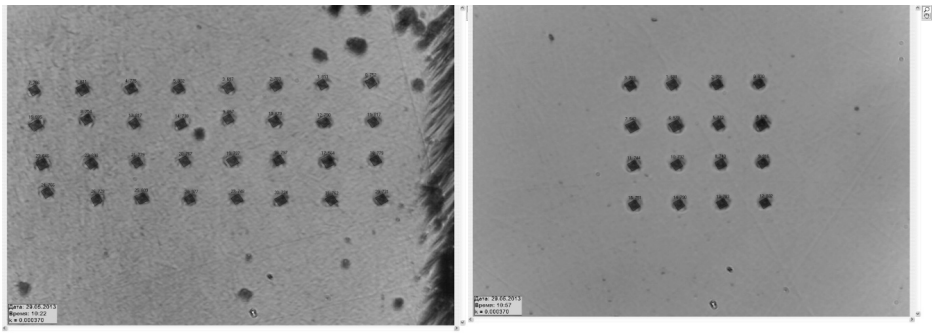
Микротвердость образца № 1

Исследуемая область	Значение микротвердости, кгс/мм^2				Среднее значение микротвердости, кгс/мм^2
Зона основного материала	280	295	283	286	286
	303	307	256	287	288
	254	283	256	301	274
	319	298	263	261	285
Среднее значение микротвердости материала основы, кгс/мм^2					283

Из таблицы видно, что среднее значение микротвердости материала основы составило 283 кгс/мм2.

Образец № 2.

На поверхности шлифа видно, что по структуре наплавленный слой практически не отличим от материала основы (Рис. 6). Граница перехода не четкая, невыраженная. Микротвердость исследовалась на наплавленном слое с переходом в материал основы, а так же на материале основы. Было проставлено 48 отпечатков: на наплавленном слое 32 отпечатка, на материале основы 16 отпечатков. Значения микротвердости образца № 2 приведены в табл. 2.



а б

а – зона покрытия, б – зона основного материала

Рис. 6. Образец №2.

Таблица 2.

Микротвердость образца № 2

Исследуемая область	Значение микротвердости, кгс/мм2				Среднее значение микротвердости, кгс/мм^2
Зона основного материала	703	688	766	830	747
	542	578	772	636	632
	744	732	740	916	783
	751	790	783	832	789
Среднее значение микротвердости материала основы, кгс/мм^2					738
Зона покрытия	752	817	779	731	770
	811	790	564	762	707
	783	670	797	724	744
	697	857	737	748	760
	902	738	767	977	846
	775	817	779	609	745
	611	754	698	728	698
	766	595	646	766	693
Среднее значение микротвердости материала покрытия, кгс/мм^2					745

Из таблицы видно, что среднее значение микротвердости материала основы составило 738 кгс/мм2. Значение микротвердости материала наплавки меняется от 770 до 693 кгс/мм2. Среднее значение микротвердости материала покрытия – 745 кгс/мм2.

Выводы.

Предложены новые высокоэффективные технологии модернизации деталей плунжерных пар топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей.

Предложенные технологии обладают универсальностью и могут использоваться для реновации изношенных поверхностей деталей с малым износом.

При электроискровом упрочнении стальных деталей с применением наплавочных паст возможно повышение микротвердости материала более чем в 2,5 раза на глубину в несколько мм.

Литература

1. Шарифуллин С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей. – Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 2009. – С.368.

UDC 621.436.03

HIGH-EFFICIENCY TECHNOLOGIES ON MODERNISATION OF PETROLIFTS HIGH-PRESSURE MOTOR-VEHICLE AND TRACTOR DIESEL ENGINES

N. R. Adigamov, department chair "Technical service", Dr.Sci.Tech., professor
(Kazan state agrarian university, 8-917-8907020, E-mail: alfia.kgsha@mail.ru)
S S.N. Sharifullin, Professor of the Department of mechanization in agriculture, doctor of technical Sciences, associate Professor
(A branch of Kazan (Volga) Federal University, Chistopol, 8-84342-50210, E-mail: saidchist@mail.ru)
K.S.Podzharaya, head of the Nanocenter
(GNU GOSNITI agricultural, 8-499-1748393, gosniti8@mail.ru)

Annotation. *In article highly effective technologies on modernization of fuel pumps of a high pressure of autotractor diesel engines are considered. Thus the most effective technologies are plasma.*
Keywords: *fuel pump, resource, plunger couple, plasma.*