DOI УДК 620.192.6

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПЛУНЖЕРНЫМИ ПАРАМИ, ВОССТАНОВЛЕННЫМИ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫМ ХРОМИРОВАНИЕМ

ШИШУРИН Сергей Александрович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

В статье представлена технология восстановления и упрочнения плунжерных пар* топливных насосов высокого давления *(ТНВД) нанокомпозиционным электролитическим хромированием, а также результаты стендовых и эксплуатационных испытаний ТНВД дизеля ЯМЗ-238НД3. По результатам испытаний снижение пусковой цикловой подачи топлива у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными нанокомпозиционным электролитическим хромированием, в 1,1–1,38 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными базовым хромированием, и в 1,4–1,8 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами.

Введение. Сельскохозяйственная техника работает в исключительно тяжелых условиях вследствие большой запыленности воздуха, непосредственного контакта многих деталей с почвой, трудностей регулярного и полноценного технического обслуживания и ряда других объективных причин, что определяет повышенную потребность сельскохозяйственной техники в ремонте [2–5].

Главной причиной, обусловливающей снижение долговечности и рабочих параметров сельскохозяйственной техники, а также необходимость ее ремонта, является износ деталей. Разработка эффективных способов борьбы с износом, увеличение ресурса деталей с целью повышения долговечности является важной научно-технической задачей.

Долговечность мобильной сельскохозяйственной техники во многом лимитируется ресурсом двигателя, у которого чаще всего отказывает топливная аппаратура [3, 6, 7]. Ресурс топливной аппаратуры определяется ресурсом их прецизионных деталей – плунжерных пар [3]. В настоящее время разработан ряд способов восстановления и упрочнения прецизионных деталей топливной аппаратуры, однако они имеют существенные недостатки [7]. Наиболее перспективными для восстановления и упрочнения ресурсоопределяющих деталей топливной аппаратуры двигателей сельскохозяйственной техники являются нанокомпозиционные электролитические покрытия на основе хрома [1, 4, 8–13]. Такие покрытия представляют собой электролитически осажденный металл с включением в него различных наноразмерных частиц, применение которых позволяет значительно улучшить служебные свойства получаемых покрытий [9, 12, 13]. В связи с вышеизложенным предлагается усовершенствовать существующую технологию восстановления плунжерных пар ТНВД модификацией гальванического покрытия на основе хрома наноразмерными частицами и провести сравнительные стендовые и эксплуатационные испытания ТНВД с плунжерными парами, восстановленными по предлагаемой технологии.

Методика исследований. Схема технологического процесса восстановления и упрочнения плунжерных пар ТНВД дизеля ЯМЗ-238НД3 с применением нанокомпо-

зиционного электролитического хромирования представлена на рис. 1. Нанесение нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома проводили по разработанной методике [10].

Плунжерные пары подвергали промывке в керосине или бензине, после чего их обдували сжатым воздухом. Далее плунжерные пары обезличивали и проводили дефектацию на предмет выявления выбраковочных дефектов и определения величин износов.

Втулки плунжеров притирали на вертикально-доводочном станке 3820-Д, используя притиры до выведения следов износа. Для черновой притирки использовали притирочную пасту АСМ 20/14, для чистовой – пасту АСМ 2/1. После притирки овальность и конусность не превышали 0,002 мм. Затем втулки промывали в бензине, обдували сжатым воздухом и подвергали повторной химико-термической обработке до твердости 55-60 HRC. Далее втулки передавали на контрольную операцию, где их сортировали на размерные группы с интервалом 0,001 мм.

Изношенные плунжеры в зависимости от степени износа либо притирали на плоско-доводочном станке 3816, используя притирочные пасты АСМ 20/14 и АСМ 2/1, либо шлифовали на бесцентрово-шлифовальном станке 3184 с последующей притиркой на плоско-доводочном станке 3816.

После механической обработки на поверхности плунжеров наносили нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома с наноразмерными частицами оксида алюминия. Для этого плунжеры закрепляли на подвесные приспособления, после чего части плунжеров, не подлежащие покрытию, изолировали перхлорвиниловой эмалью ХВ-1100. Затем плунжеры подвергали электрохимическому обезжириванию для удаления с поверхности жировых пленок и отложений. Для интенсификации процесса свя-

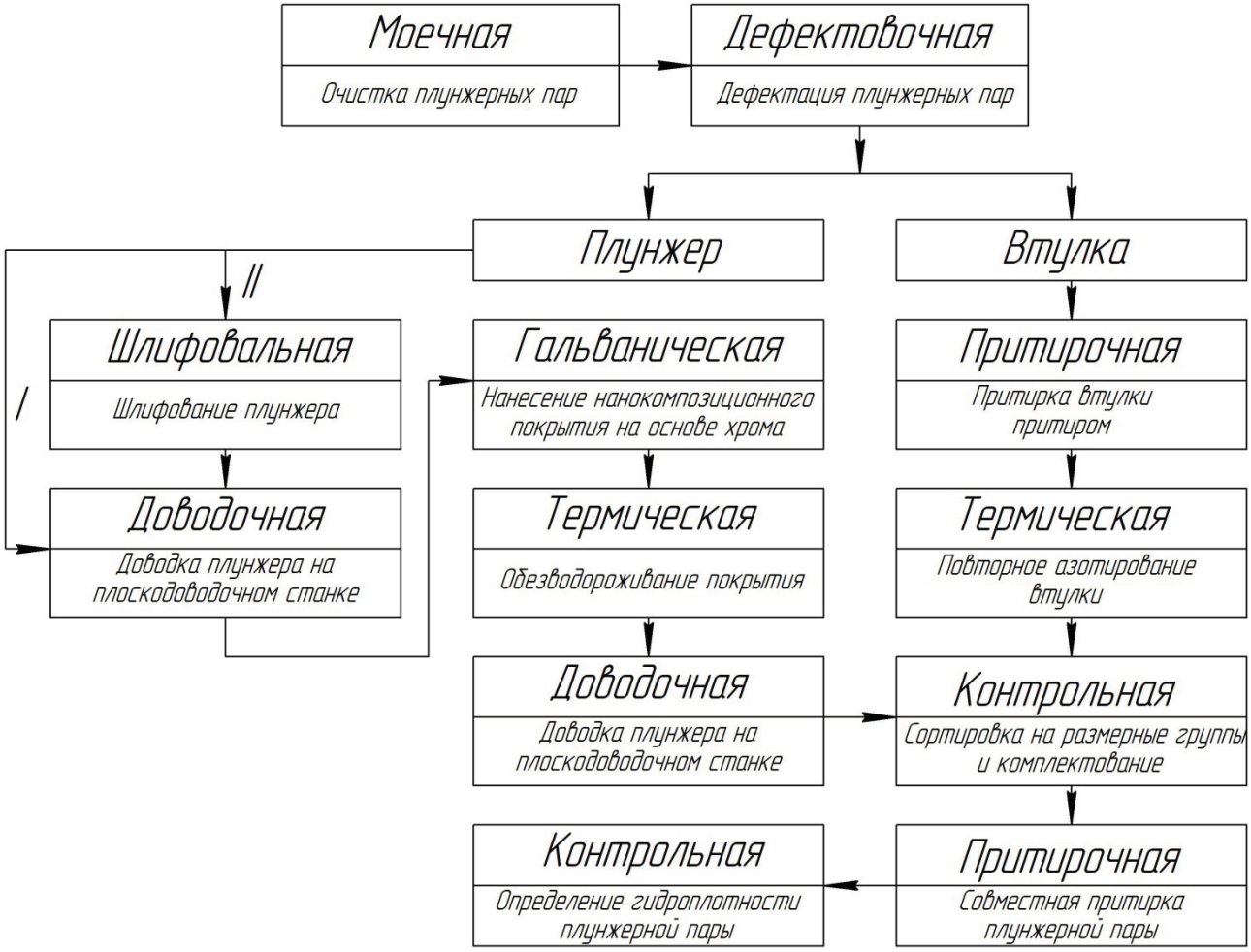

Рис. 1. Схема технологического процесса восстановления и упрочнения плунжерных пар ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ

зывания инородных частиц и выпадения их в осадок обезжиривание проводили в электролите 10 %-м раствором гидроксида натрия с добавлением углекислого натрия и натриевого жидкого стекла. Режимы обработки: плотность катодного тока – 10 А/дм^2, температура электролита 70 °С, время операции 5 мин. После промывки поочередно в горячей и холодной проточной воде детали подвергали декапированию (анодной обработке) в электролите 30 %-м раствором серной кислоты для удаления окисных пленок и более тщательного обезжиривания поверхностей. Режимы обработки: плотность катодного тока – 20 А/дм^2, температура электролита 25 °С, время операции 2 мин. После промывки поочередно в горячей и холодной проточной воде проводили нанесение нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома из электролита следующего состава: хромовый ангидрид CrO_3 – 250 г/л; калий кремнефтористый K_2SiF_6 – 20 г/л; барий сернокислый $BaSO_4$ – 5 г/л; серная кислота H_2SO_4 – 0,34 г/л; наноразмерный порошок оксида алюминия Al_2O_3 – 3,2 г/л. Режимы электролиза: плотность катодного тока – 55...60 А/дм^2, температура электролита 50 °С, время операции – до необходимой величины наносимого слоя. Скорость осаждения покрытия 40...60 мкм/ч.

После нанесения покрытия плунжеры промывали последовательно в горячей и холодной проточной воде и проводили обезводороживание путем нагрева деталей с покрытием до 200 °С и выдерживании при данной температуре в течение 2 ч. Далее плунжеры обрабатывали на плоско-доводочном станке 3816, используя доводочные пасты АСМ 20/14 и АСМ 2/1. Затем плунжеры передавали на контрольную операцию, где их сортировали на размерные группы с интервалом 0,001 мм и комплектовали с втулками.

Совместную притирку плунжера и втулки осуществляли на доводочной бабке Т 9158-1А-9. Для совместной притирки использовали доводочную пасту АСМ 2/1.

Восстановленные плунжерные пары сортировали на группы по гидроплотности. Гидроплотность определяли прибором КИ-759. Каждый ТНВД комплектовали плунжерными парами одной группы гидроплотности.

Для испытания восстановленных и упрочненных плунжерных пар топливных насосов дизелей ЯМЗ-238НД3 был применен метод ускоренных износных испытаний, проводимых с добавлением абразивных частиц в дизельное топливо [7]. Испытания проводили, используя стенды КИ-22205-01 ГОСНИТИ.

Экспериментальные ТНВД комплектовались серийными и восстановленными (упрочненными) с применением нанокомпозиционного и базового хромирования плунжерными парами. Геометрические параметры рабочих поверхностей плунжерных пар соответствовали требованиям, предъявляемым к ним [3, 7]: шероховатость рабочих поверхностей втулки и плунжера Ra = 0,04...0,06 мкм, нецилиндричность – 2...4 мкм, некруглость – 0,2...0,3 мкм, конусность по длине 20 мм – не более 0,5...0,6 мкм.

Испытания проводили в два этапа: первый – обкатка в течение 10 ч на чистом дизельном топливе; второй – основные испытания на дизельном топливе, содержащем абразивные частицы кварца с размерами 3...5 мкм при концентрации абразива 15 г/т. После каждой серии испытаний топливо с абразивом заменяли. Во всех случаях концентрация абразива не менялась. Время испытаний – 130 ч. Через каждые 10 ч испытаний фиксировали пусковую цикловую подачу топлива.

Эксплуатационные сравнительные испытания ТНВД с восстановленными (упрочненными) и серийными плунжерными парами проводили в ИП Глава КФХ «Волков В.В.» и ООО «Агрофирма «Рубеж» на тракторах К-700А, выполняющих различные сельскохозяйственные работы. Перед эксплуатационными испытаниями экспериментальные ТНВД с восстановленными (упрочненными) и серийными плунжерными парами были отрегулированы и в течение 10 ч обкатаны на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ.

В процессе эксплуатационных испытаний контролировали: наработку ТНВД и изменение пусковой цикловой подачи топлива

каждые 250 мото-ч на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ.

Результаты исследований. Изменение цикловой пусковой подачи плунжерных пар ТНВД ЯМЗ-238НД3 во время прохождения стендовых испытаний представлено на рис. 2, см. обложку. Из представленных данных видно, что по окончании испытаний цикловая пусковая подача плунжерных пар восстановленных и упрочненных нанокомпозиционным электролитическим хромированием составила 194 мм^3/цикл (снижение на 7,6 % по отношению к начальной), восстановленных базовым хромированием 188 мм^3/цикл (снижение на 10,5 % по отношению к начальной), серийных 181 мм^3/цикл (снижение на 13,8 % по отношению к начальной).

Утечек топлива, следов задиров и схватывания на рабочих поверхностях плунжерных пар обнаружено не было.

Результаты эксплуатационных испытаний ТНВД дизеля ЯМЗ-238НД3 представлены на рис. 3, см. обложку. По результатам проведенных эксплуатационных испытаний было установлено, что пусковая цикловая подача серийных плунжерных пар составила 202 мм^3/цикл (снижение на 3,8 % по отношению к начальной), упрочненных базовым хромированием 202,8 мм^3/цикл (снижение на 3,4 % по отношению к начальной), нанокомпозиционным электролитическим хромированием 204,3 мм^3/цикл (снижение на 2,7 % по отношению к начальной).

Менее интенсивное снижение цикловой подачи топлива на пусковом режиме плунжерных пар, восстановленных и упрочненных применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, можно объяснить более высокой микротвердостью и износостойкостью поверхностного слоя плунжера.

За счет этого в сопряжении плунжер – втулка сохраняется наиболее стабильная величина зазора по сравнению с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными базовым хромированием, и серийными.

Заключение. По результатам стендовых испытаний выявлено, что снижение пусковой цикловой подачи топлива у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными нанокомпозиционным электролитическим хромированием, в 1,38 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными базовым хромированием, и в 1,8 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами.

По окончании проведения эксплуатационных испытаний ТНВД дизелей ЯМЗ-238НД3 снижение пусковой цикловой подачи топлива у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, в 1,1 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными и упрочненными с применением базового хромирования, и в 1,4 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами.

Нанокомпозиционные электролитические покрытия на основе хрома можно рекомендовать для восстановления и упрочнения плунжерных пар ТНВД и других прецизионных деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н.* Композиционные электрохимические покрытия и материалы. – Киев: Техника, 1986. – 200 с.

2. *Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П.* Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. – М.: Информагротех. 1995. – 295 с.

3. *Белявцев А.В., Процеров А.С.* Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 223 с.

4. *Бородин И.Н.* Порошковая гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1990. – 235 с.

5. *Бурак П.И., Голубев И.Г.* Реализация инновационных технологий технического сервиса. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», – 2014. – 160 с.

6. *Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П.* Работоспособность и долговечность восстанавливаемых деталей и сборочных единиц. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1993. – 120 с.

7. *Загородских Б.П., Хатько В.В.* Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых двигателей. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 142 с.

8. Пат. 2283373 Российская Федерация, МПК C 25 D 15/00. Способ получения композиционных электрохимических покрытий из саморегулирующихся электролитов хромирования / В.В. Сафонов, Э.К. Добринский, С.И. Малашин, С.А. Шишурин, А.Р. Гольдберг, К.В. Сафонов; № 2004126058/02; заявл. 25.08.2004; опубл. 10.09.2006, Бюл. № 25.

9. Структура и физико-механические свойства композиционных гальванохимических покрытий / С.А. Шишурин [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2014. – № 3 (15). – С. 77–80.

10. Технологии нанесения нанокомпозиционных гальванических покрытий для деталей сельскохозяйственной техники: рекомендации по получению / В.В. Сафонов [и др.]. – Саратов, 2017. – 31 с.

11. Application of composite electroless nickel coatings on precision parts of hydraulics aggregates // V. V. Safonov [et al.] // Tribology in Industry, 2019, Vol. 41, No. 1, P. 14–22.

12. Effect of alumina nanoparticles on the structure and physicochemical properties of chromium coatings / V.V. Safonov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2015, Vol. 51, No. 6, P. 517–522.

13. Investigation of structure and wear resistance of nanocomposite coating of chemical nickel / V. Safonov [et al.] // Tribology in Industry, 2018, Vol. 40, No. 4, P. 529–537.

Шишурин Сергей Александрович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-63.

Ключевые слова: *композиционные покрытия; наноразмерные частицы; гальваническое хромирование; топливный насос высокого давления; плунжерные пары; ресурс; подача топлива.*

RESULTS OF STAND AND OPERATIONAL TESTS OF HIGH PRESSURE FUEL PUMP WITH PLUNGER PAIRS RECOVERED BY NANOCOMPOSITION CHROMINATION

Shishurin Sergey Aleksandrovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technical Support of Agro-Industrial Complex", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Keywords: *composite coatings; nanoscale particles; electroplating chrome plating; high pressure fuel pump; plunger pairs; resource; fuel supply.*

The article presents the technology of restoration and hardening of plunger pairs of fuel injection pumps by nanocomposite electrolytic chrome plating, as well as the results of bench and performance tests of fuel injection pumps for the YaMZ-238ND3 diesel engine. According to the test results, the reduction of the starting cyclic fuel supply for a pump with plunger pairs, restored and strengthened by nanocomposite electrolytic chromium plating is 1.1–1.38 times less than that of a pump with plunger pairs recovered and hardened by base chromium plating and 1.4–1.8 times less than the TNVD with serial plunger pairs.