

УДК 621.793

**ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКТИВОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ НАНЕСЕНИЕМ  
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Лойко В.А.<sup>1</sup>**, к.т.н., доцент, **Ивашко В.С.<sup>2</sup>**, д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Рассмотрена возможность уменьшения зазоров в новых плунжерных парах до оптимальных значений и восстановления использованных плунжерных пар путем нанесения вакуумно-плазменных покрытий. Создана опытно-экспериментальная вакуумно-плазменная установка на базе «Булат-6», оснащенная газовым источником ионной очистки и ассистирования и системой сепарации потока макро частиц, предложен трех слойный материал покрытия и технология вакуумно-плазменного нанесения.

Проведенными ранее исследованиями /1/ установлено, что серийно производимые отечественными предприятиями плунжерные пары топливных насосов имеют значительный разброс зазоров от 3,7 до 5,4 мкм, в то время, как для качественной работы топливного насоса зазор между плунжером и втулкой должен составлять от 1,5 до 2,5 мкм. Зазоры в изношенных парах составляли от 5,5 до 15 мкм, что при максимальных значениях создает проблемы с запуском двигателя, потере мощности и тяговых характеристик дизельных двигателей.

Весьма существенное влияние на работу дизельного двигателя оказывает степень неравномерности подачи топлива в цилиндры секциями плунжерных пар топливного насоса высокого давления. Так, неравномерность в 20% подачи топлива секциями топливного насоса приводит к потере мощности в 10 % /2/. Данная проблема также существенно влияет на вопросы долговечности и равной прочности деталей дизельного двигателя. Возможности преселективной подборки монтируемых в топливный насос плунжерных пар по величине зазора и по величине порции топлива /2/, подаваемой в цилиндр, достаточно ограничены.

Поэтому актуальной задачей является прецизионное наращивание диаметра плунжеров износостойкими, и желательно антифрикционными материалами, для обеспечения требуемых значений зазоров и гидравлической плотности плунжерной пары топливного насоса.

Наиболее перспективным методом решения этой задачи является использование PVD-процессов, в частности вакуумно-плазменной технологии нанесения многослойных износостойких композиций, включающих твердый слой на основе фаз внедрения переходных металлов IVa-VIa групп Периодической системы элементов, которые отличаются: высокой твердостью, термической и химической устойчивостью, высокой адгезией и малым коэффициентом трения по углеродистой стали.

Для разработки процесса вакуумно-плазменного нанесения покрытий на плунжеры топливных насосов решаются следующие задачи:

– Отделение (сепарация) дисперсных макро-частиц (твердых, каплеобразных, расплавленных) от формирующего покрытие потока ионов металла в специально разработанной криволинейной плазмо-оптической системе, благодаря которой поток ионов металла поворачивается на  $90^{\circ}$  и направляется на деталь, а нейтральные частицы движутся прямолинейно и осаждаются на охлаждаемой водой ловушке /3/.

– Снижение температуры поверхностных участков плунжеров в процессе нанесения покрытий, до величин, исключающих отпуск основного материала ( $<180^{\circ}$ ) путем исключения из процесса очистки ионами металла и замены очисткой ускоренным потоком ионизированного нейтрального газа с последующим осаждением слоя покрытия в условиях ионного ассистирования реакционным газом ( $N_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CH_3$  и др.).

– Обеспечение равной скорости осаждения покрытия по рабочей поверхности плунжера путем строго определенной ориентации детали по отношению к оси плазменного потока и придания вращательного (планетарного) движения.

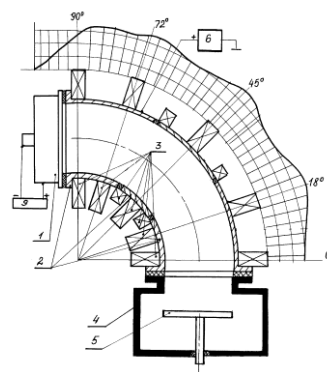
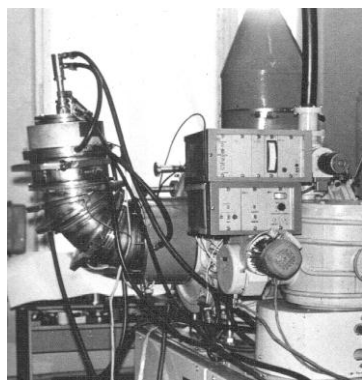


Рисунок 1 – Вакуумная камера установки «Булат-6», оснащенная системой плазмосепарации и газовым ионным источником «Аида-2».

1-электродуговой испаритель; 2-электромагнитная система; 3-плазмовод; 4-вакуумная камера; 5-система вращения; 6-источник постоянного тока.

Устройство сконструировано и изготовлено таким образом, что соблюдается соотношение (1) и обеспечивается транспортировка ионов металла покрытия с поворотом на  $90^0$  в криволинейном (1/4 тора) металлическом плазмоводе.

Условие прохождения ионной компоненты плазмы через тороидальный плазмовод:

$$\frac{r}{u} \geq \frac{L}{v_0} \quad (1)$$

где  $u = Mcv_0^2 / Z_eRH$  – скорость центробежного дрейфа ионов в неоднородном поле;  $M$ ,  $Z_e$ ,  $v_0$  – масса, заряд и продольная скорость ионов соответственно;  $R$  – радиус кривизны магнитных силовых линий,  $L$  – длина участка тора;  $r$  – меньший радиус тора.

Устройство работает следующим образом. В электродуговом испарителе 1 (Рис. 1.) зажигается вакуумная электрическая дуга катодной формы, развивающаяся в катодных микропятнах на твердой и интегрально холодной поверхности расходуемого электрода и генерируются потоки плазмы исходного материала, содержащие ионы металла с зарядом от +4 до +1 (от 50 до 70% по массе) и макрочастицы (капли и твердые осколки), которые направляются в металлический плазмовод 3, представляющий собой 1/4 кругового кольца (тора) с магнитной системой 2. По действием скрещенных магнитного и электрического полей особой конфигурации ионам металла сообщается дополнительная энергия и усилие, направленное к центру плазмовода, заставляющее скользить вдоль оси к выходу в камеру 3 в направлении напыляемых деталей 4, на которых и осаждается покрытие.

Из анализа характеристик материалов следует, нитриды и карбиды хрома и молибдена благодаря кристаллическому строению этих фаз внедрения и высоким физико-механическим характеристикам наиболее перспективны для нанесения в качестве твердого износостойкого слоя на поверхность плунжеров топливных насосов. Для улучшения сцепления с основой целесообразно наносить на поверхность слой чистого металла (Cr или Mo), толщиной 0,2-0,5 мкм, а на промежуточный твердый слой нитрида (или карбида) хрома (молибдена) – слой твердой смазки MoS<sub>2</sub> толщиной 0,4-0,5 мкм. В результате покрытие представляет собой трехслойную композицию:

1- адгезионная прослойка металла Cr или Mo 0,2-0,5 мкм;

2- промежуточный твердого износостойкого слоя нитрида или карбида Cr или Mo (толщина выбирается в зависимости от величины зазора в плунжерной паре, который компенсируется покрытием);

3- наружный слой твердой смазки MoS<sub>2</sub> толщиной 0,4-0,5 мкм.

Предлагается следующий технологический процесс нанесения покрытий для уменьшения зазоров в новых плунжерных парах до оптимальных значений и восстановления ис-

пользованных плунжерных пар применительно к созданному опытно-экспериментальному оборудованию включает:

– Точный замер плунжеров и разбивка на группы для нанесения покрытий в одном технологическом цикле (16 шт. на 1 загрузку).

– Подготовка поверхности (очистка, обезжиривание, мойка).

– Загрузка в вакуумную камеру и установка в приспособление-вращатель.

– Откачка камеры с плунжерами до вакуума  $10^{-3}$ - $5 \times 10^{-4}$  Па.

– Очистка ионами аргона с использованием низкоэнергетического ионного источника «Аида-2». При включенной системе планетарного вращения плунжеров, поверхности плунжеров, подлежащие нанесению покрытия, обрабатываются ускоренным в источнике «Аида-2» потоком ионов аргона с возрастающей по мере очистки энергией 150-300 эВ (ток накала 6-12А) при давлении аргона в камере  $(5-8) \cdot 10^{-2}$  Па. Затем на плунжеры подают отрицательный потенциал смещения, ступенями увеличивая до максимального значения (1700В) в ходе процесса, не допуская возникновения микро дуговых разрядов на поверхностях плунжеров. При этом энергия ионов аргона, а, следовательно, эффективность очистки многократно возрастает /4/ в соответствии с формулой (2).

$$W_i = W_o + e \cdot Z \cdot U_n \quad (2)$$

где  $W_o$  - первоначальная энергия иона после источника «Аида -2»;  $Z$ - заряд иона  $Ar$ ;  $e$  -заряд электрона;  $U_n$  - отрицательный потенциал смещения на плунжере.

– Осаждение адгезионного слоя металла. Включают электродуговой испаритель и устанавливают ток горения дуги 130-150А для  $Mo$  или 60-80А для  $Cr$ . Потенциал смещения на плунжерах -25-50 В для  $Mo$  и -80-150 В для  $Cr$ .

– Осаждение износостойкого слоя нитрида (карбида) молибдена (хрома) из сепарированного потока плазма. В камеру подают через источник «Аида-2» слегка ионизированный реактивный газ азот или метан до  $(2-5) \cdot 10^{-3}$  Па. В результате реакций прямого плазмохимического синтеза, протекающим на поверхности между осаждающимися ионами металла и ионами газа образуется твердый износостойкий слой нитрида или карбида металла при значительно более низких температурах (150-180<sup>0</sup>С), чем по традиционной технологии (500-600<sup>0</sup>С) исключить возможность отпуска основы плунжера на низкую твердость.

– Нанесение твердого смазочного слоя  $MoS_2$ . В камеру подают через источник «Аида-2» ионизированный серосодержащий реактивный газ до  $(2-8) \cdot 10^{-4}$  Па. В результате реакций прямого плазмохимического синтеза, протекающего на поверхности между осаждающимися ионами металла и ионами газа, образуется твердый смазочный слой дисульфида молибдена  $MoS_2$ .

#### Литература

1. Лойко, В.А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве. /В.А. Лойко, [и др.] - Минск: Издательство УО БГАТУ, 2007 – 190 с.
2. Лойко В.А., Ивашко В.С. Формирование структур поверхностных слоев при вакуумно-плазменном нанесении покрытий. / Изобретатель. №7-8(139-140), 2011. С. 12-16.
3. Дороднов А.М., Петросов В. А. С физических принципах и типах вакуумных технологических плазменных устройств // ЖТФ - 1981. - Т. 51, № 3, С. 504-524.