

ствали следы прокатки. Вдоль полос прокатки на поверхности покрытия хорошо видны белые округлые включения, размер которых колеблется от 0.5 до 2 мкм.

Покрытие плотное, безпористое и только на границе раздела покрытие – белая фаза имеются небольшие трещины. На большом увеличении видно, что покрытие имеет слабо выраженную зеренную структуру. Это так же подтверждается данными, полученными на атомно–силовом микроскопе. Размер зерен колеблется от 1 до 8 мкм.

**Заключение.** Проведенные исследования показали перспективность применения вакуумных покрытий из дисульфида молибдена для нанесения покрытий на детали, работающие в узлах трения. Использовать для нанесения слоя материала со специальными свойствами.

### Литература

1. Вакуумно–плазменные технологии в ремонтном производстве / В.А. Лойко и др. – Минск: БГАТУ, 2007. 192 с.

УДК 621.7

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

В.С. Ивашко<sup>1</sup> д-р техн. наук, проф., В.А. Лойко<sup>2</sup> канд. техн. наук,  
Л.Н. Поклад<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** В процессе эксплуатации топливной аппаратуры происходит изменение геометрических и физико–механических свойств поверхности деталей, что приводит к ухудшению, а иногда и отказу работы топливной системы.

**Основная часть.** Топливоподающая система дизеля включает в себя следующие основные элементы: топливный бак, фильтр грубой очистки, фильтр–отстойник, топливный насос, подкачивающий насос, перепускной трубопровод, фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки, трубопровод высокого давления и форсунку. Наиболее ответственными и менее долговечными деталями топливной аппаратуры являются прецизионные пары: насосный элемент, седло и клапан, игла и распылитель, которые должны обеспечить: 1) периодический впрыск топлива в камеру сгорания в количестве, соответствующем нагрузке двигателя; 2) своевременное начало и продолжительность впрыска, определяющие наилучшие эксплуатационные показатели двигателя; 3) качественное распыливание топлива в объем камеры сгорания; 4) оптимальный (по термодинамическим показателям рабочего процесса дизеля) закон подачи топлива. Измерения размеров и отклонений формы рабочих поверхностей прецизионных пар пар производилось на универсальном измерительном центре UMC–850

фирмы Opton, Германия, методом прямого ощупывания измерительной головкой по заданной программе. Первичный преобразователь (датчик) оснащён рубиновыми наконечниками с дискретностью отсчёта  $\pm 0,0005$  мм. Измерительный центр находится в помещении с обеспечением нормальных условий выполнения измерений по ГОСТ 8.050–73. Данные выполненных измерений представлены в таблице 1. Зазоры между рабочими поверхностями прецизионных пар после сборки в таблице 2. Послеремонтный ресурс топливной аппаратуры в нормальных условиях эксплуатации находится в пределах 30–50 % от новой. Это объясняется слабой оснащённостью ремонтных предприятий высокоточным оборудованием для механической обработки, стендами, контрольно-измерительными приборами, квалифицированными кадрами.

**Таблица 1 – Шероховатость рабочих поверхностей прецизионных пар после сборки**

| Прецизионные пары     |         | Высота микронеровностей по сечениям, мкм |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------------|---------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                       |         | I–I                                      | II–II           | III–III         | IV–IV           | V–V             | VI–VI           |
| Плунжерная пара       | Втулка  | 0,042–<br>0,063                          | 0,045–<br>0,061 | 0,047–<br>0,062 | 0,045–<br>0,065 | 0,044–<br>0,066 | 0,042–<br>0,063 |
|                       | Плунжер | 0,047–<br>0,065                          | 0,049–<br>0,060 | 0,045–<br>0,064 | 0,048–<br>0,063 | 0,043–<br>0,064 | 0,045–<br>0,062 |
| Нагнетательный клапан | Седло   | 0,11–<br>0,187                           | 0,13–<br>0,186  | 0,12–<br>0,183  | 0,09–<br>0,185  | 0,097–<br>0,184 | 0,093–<br>0,182 |
|                       | Клапан  | 0,18–<br>0,199                           | 0,12–<br>0,197  | 0,11–<br>0,19   | 0,10–<br>0,185  | 0,13–<br>0,17   | 0,11–<br>0,19   |
| Распылитель           | Корпус  | 0,044–<br>0,062                          | 0,042–<br>0,058 | 0,043–<br>0,054 | 0,046–<br>0,057 | 0,047–<br>0,053 | –               |
|                       | Игла    | 0,042–<br>0,052                          | 0,041–<br>0,054 | 0,039–<br>0,057 | 0,038–<br>0,053 | 0,042–<br>0,054 | –               |

**Таблица 2 – Зазоры между рабочими поверхностями прецизионных пар после сборки**

| Прецизионные пары     | Зазоры по сечениям, мкм |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                       | I–I                     | II–II           | III–III         | IV–IV           | V–V             | VI–VI           |
| Плунжерная пара       | 0,002–<br>0,004         | 0,001–<br>0,003 | 0,001–<br>0,003 | 0,002–<br>0,011 | 0,001–<br>0,012 | 0,003–<br>0,016 |
| Нагнетательный клапан | 0,007–<br>0,015         | 0,006–<br>0,013 | 0,008–<br>0,012 | 0,005–<br>0,016 | 0,006–<br>0,012 | 0,005–<br>0,014 |
| Распылитель           | 0,003–<br>0,007         | 0,001–<br>0,004 | 0,001–<br>0,008 | 0,002–<br>0,007 | 0,001–<br>0,015 | –               |

При таких условиях работы основных элементов насосов высокого давления, для повышения их ресурса, наиболее приемлемым способом восстановления рабочих поверхностей прецизионных пар является вакуумно–плазменное нанесение износостойких покрытий толщиной до 5 мкм при температурах 150–

200°K, без последующей механической обработки. Для реализации технологии получения покрытий используются установки «Булат 3Т», оснащенные тремя вакуумно–дуговыми источниками плазмы. В зависимости от расстояния до источников плазмы и испаряемого материала на рабочих поверхностях деталей осаждают различные слои покрытия.

УДК 621.762

## **АНАЛИЗ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ДИФФУЗИОННО–ЛЕГИРОВАННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ ПОРОШКОВ**

В.Г. Щербаков, аспирант  
Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** Диффузионно–легированные (ДЛ) металлические наплавочные порошки находят широкое применение в различных отраслях промышленности и позволяют получать покрытия с различными эксплуатационными свойствами: износостойкие покрытия для работы с ударными нагрузками, износостойкие покрытия для условий трения скольжения, износостойкие антифрикционные покрытия, износостойкие покрытия для работы в агрессивных технологических средах, износостойкие покрытия для условий интенсивного абразивного изнашивания, антифрикционные плазменные покрытия для подшипников скольжения и т.д. [1].

Ассортимент наплавочных порошков очень велик. Наиболее широко применяются объемно–легированные, распыленные порошки на никелевой основе. Легирующие элементы (Cr, Mo, Cu) обеспечивают высокую жаростойкость, коррозионную стойкость и прочностные свойства, а наличие таких легирующих элементов как Si и В обеспечивает эффект самофлюсования при индукционной наплавке. Однако дороговизна данных материалов приводит к тому, что все больший интерес вызывают диффузионно–легированные наплавочные порошки на железной основе. Данные материалы позволяют получать защитные покрытия с заданным комплексом свойств как мелкосерийных партий так и при промышленном производстве, что в свою очередь обеспечивает существенное снижение себестоимости продукции.

Одним из наиболее важных технологических факторов, определяющих структуру и свойства наплавленных покрытий при индукционной наплавке, является температура плавления диффузионно–легированного наплавочного порошка. Температуры плавления наплавочных порошков для индукционной наплавки составляют более 1200 °С, что весьма существенно влияет на качество получаемого слоя, так как нагрев до такой температуры приводит к интенсивному окислению самого порошка, так и к снижению качества наплавляемого слоя и основы.